



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

## ÚSTAV ELEKTROTECHNOLOGIE

DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND ELECTRONIC TECHNOLOGY

## STANOVENÍ EMISÍ A ŠKODLIVÝCH ČÁSTIC VÝFUKOVÝCH PLYNŮ U CNG, BENZINOVÝCH A NAFTOVÝCH VOZIDEL

DETERMINATION OF EMISSIONS AND HARMFUL PARTICLES OF EXHAUST GASES OF CNG, PETROL  
AND DIESEL VEHICLES

### DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Adam Rozsival

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Petr Bača, Ph.D.

BRNO 2019

# Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor **Elektrotechnická výroba a materiálové inženýrství**

Ústav elektrotechnologie

**Student:** Bc. Adam Rozsival

**ID:** 164824

**Ročník:** 2

**Akademický rok:** 2018/19

## NÁZEV TÉMATU:

### **Stanovení emisí a škodlivých částic výfukových plynů u CNG, benzinových a naftových vozidel**

## POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Analyzujte typy emisí a škodlivých částic při používání vozidel s environmentálním dopadem.

Popište možnosti/opatření snižování emisí na základě environmentálních dopadů v automobilové dopravě, zohledněte systémy automobilů, které umožňují další snižování emisí.

Popište problematiku stanovování jednotlivých druhů emisí v automobilové dopravě výpočtem.

Popište problematiku zjišťování emisí automobilové dopravy emisním měřením.

Porovnejte údaje emisí CO<sub>2</sub> stanovené výpočtem na konkrétních automobilech s daty od výrobce, dále porovnejte měřená vozidla mezi sebou.

Provedte analýzu vozového parku a úsporu emisí CO<sub>2</sub> vzhledem k předešlému období.

Vyhodnoťte provoz jednotlivých typů vozidel a vypočítejte jejich minimální nájezd s ohledem na finanční/ekologický aspekt.

## DOPORUČENÁ LITERATURA:

Podle doporučení vedoucího práce.

**Termín zadání:** 4.2.2019

**Termín odevzdání:** 21.5.2019

**Vedoucí práce:** doc. Ing. Petr Bača, Ph.D.

**Konzultant:**

**doc. Ing. Petr Bača, Ph.D.**  
*předseda oborové rady*

## UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

## **ABSTRAKT**

Práce se zabývá analýzou emisí a škodlivých částic výfukových plynů u vozidel s environmentálním dopadem, respektive popisuje základní charakteristiky a vlastnosti současných druhů používaných paliv a emisí produkovaných spalovacími motory. Dále pojednává o opatřeních a možnostech snižování emisí automobilové dopravy na základě environmentálního dopadu, konkrétně se zabývá současnou Evropskou emisní normou a systémy vozidel, které umožňují snižování emisí. Práce také pojednává o emisním měření a početních metodách v oblasti určování emisí. Podle zvolené početní metodiky je provedena analýza exhalací, vycházející z dat reálného provozu vozového parku a jsou porovnány hodnoty z emisního měření. Součástí analýzy je také finanční aspekt.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Emise, Benzin, Nafta, CNG, Oxid uhličitý, CO<sub>2</sub>, Oxidy dusíků, NO<sub>x</sub>, Výfukové plyny

## **ABSTRACT**

The thesis deals with an analyses of emission and harmful particles of exhaust fumes of automobiles with an environmental impact. More precisely, it describes the basic characteristics of current fuel types and emission produced by internal combustion engines. Next, it deals with the measures and possibilities of decreasing car traffic emission with respect to environmental impact. It also describes the current European standards for emission and the systems of the cars that are able to decrease emission. The work also deals with the measuring of emission and the methods that are used. According to the measuring methods, the analysis of exhalation is done and it is based on the data of the real car fleet. Values of the emission analyses are compared. The financial aspect is a part of the analyses.

## **KEYWORDS**

Emission, Petrol, Diesel, CNG, Carbon dioxide, CO<sub>2</sub>, Nitrogen dioxide, NO<sub>x</sub>, Exhaust fumes

ROZSÍVAL, Adam. *Stanovení emisí a škodlivých částic výfukových plynů u CNG, benzinových a naftových vozidel*. Brno, 2019. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/119561>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav elektrotechnologie. Vedoucí práce Petr Bača.

## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji vedoucímu diplomové práce a také odbornému konzultantovi za účinnou, metodickou pomoc a cenné rady při zpracování této práce. Dále bych chtěl poděkovat rodině a mým kolegům za morální podporu a poskytovanou pomoc v každé formě.

V Brně dne: **20. května 2019**

.....

(podpis autora)

# OBSAH

<b>Úvod</b>	<b>1</b>
<b>1 Pohonné hmoty a emise v dopravě</b>	<b>2</b>
1.1 Současné druhy paliv .....	2
1.1.1 Benzin .....	2
1.1.2 Nafta.....	3
1.1.3 Plyná paliva.....	4
1.1.4 Elektřina.....	6
1.1.5 Vodík .....	7
1.2 Emise škodlivin a složení výfukových plynů .....	7
1.2.1 Oxid uhelnatý CO .....	9
1.2.2 Oxid uhličitý CO <sub>2</sub> .....	10
1.2.3 Oxidy dusíku NO <sub>x</sub> .....	11
1.2.4 Uhlovodíky H <sub>x</sub> C <sub>y</sub> .....	12
1.2.5 Oxidy síry SO <sub>x</sub> .....	12
1.2.6 Pevné částice PM .....	12
<b>2 Snižování emisí</b>	<b>14</b>
2.1 Systém testování NEDC .....	15
2.2 Systém testování WLTP .....	16
2.3 Systémy vozidel pro snižování emisí.....	16
2.3.1 Snížení zdvihového objemu.....	17
2.3.2 Konstrukční uzpůsobení motoru.....	19
2.3.3 Pasivní snižování emisí.....	22
<b>3 Metody emisního měření</b>	<b>29</b>
3.1 Měření dle předpisu EHK 83 .....	29
3.1.1 Zkouška typu I .....	29
3.1.2 Zkouška typu II.....	30
3.1.3 Zkouška typu III.....	30
3.1.4 Zkouška typu IV .....	30
3.1.5 Zkouška typu V.....	31
3.1.6 Zkouška typu VI .....	31
3.1.7 OBD zkouška .....	32
3.2 Měření dle předpisu EHK 49 .....	33
3.2.1 Zkušební cyklus systému WHTC .....	33
3.2.2 Zkušební cyklus systému WHSC .....	34
3.2.3 Plynulý odběr a odběr vzorku dávkami .....	34
<b>4 Analytické metody výfukových plynů</b>	<b>37</b>
4.1 Opacimetrie.....	37

4.2	Analyzátory plynů.....	38
4.2.1	NDIR metoda.....	38
4.2.2	Plamenoionizační detektor (FID).....	39
4.2.3	Chemiluminiscenční analýza (CLA) .....	40
4.2.4	Měření obsahu kyslíku metodou AOM .....	41
4.3	Ředění výfukových plynů (CVS) .....	41
4.4	Početní metody pro jednotlivé emisní složky vycházející z emisního měření a analytických metod .....	42
4.4.1	Výpočet hmotnosti emisních složek výfukových plynů dle EHK 83 a EHK 49 .....	43
4.4.2	Výpočet emise CO <sub>2</sub> na základě hmotnosti vozu.....	45
4.4.3	Výpočet emise CO <sub>2</sub> podle výhřevnosti paliva .....	46
<b>5</b>	<b>Analýza vozového parku</b>	<b>48</b>
5.1	Porovnání emisí CO <sub>2</sub> stanovených výpočtem s emisemi udávanými výrobcem .....	48
5.2	Porovnání reálných dat s hodnotami výrobce.....	51
5.2.1	Průměrná spotřeba vozidel.....	51
5.2.2	Porovnání hodnot emise CO <sub>2</sub> .....	52
5.3	Alternativní složení vozového parku a úspora CO <sub>2</sub> .....	53
5.4	Úspora emisí, vzhledem k předešlému období .....	55
5.5	Porovnání exhalace měřených vozidel .....	56
<b>6</b>	<b>Finanční/ekologický aspekt provozu vozového parku</b>	<b>59</b>
6.1	Promítnutí silniční daně do nákladů na provoz .....	61
6.2	Náklady na provoz vozidel spolu s kupní cenou .....	62
6.3	Náklady na provoz vozidel včetně operativního leasingu .....	63
	<b>Závěr</b>	<b>65</b>
	<b>Literatura</b>	<b>67</b>
	<b>Seznam symbolů, veličin a zkratk</b>	<b>71</b>

# SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1.1: Destilační křivka benzínu [3] .....	3
Obr. 1.2: Složení výfukových plynů zážehového motoru [7].....	8
Obr. 1.3: Složení výfukových plynů vznětového motoru [12] .....	9
Obr. 1.4: Antropogenní podíl emisí CO <sub>2</sub> [16] .....	11
Obr. 2.1: Schematické vyobrazení jízdního cyklu NEDC [18] .....	15
Obr. 2.2: Schematické vyobrazení jízdního cyklu WLTP [18] .....	16
Obr. 2.3: Schematický obrázek turbodmychadla [21] .....	19
Obr. 2.4: Schématické znázornění detonačního pochodu [26] .....	20
Obr. 2.5: Závislost emisí na součiniteli lambda pro zážehový motor [27].....	21
Obr. 2.6: Závislost emisí na součiniteli lambda pro vznětový motor [27] .....	21
Obr. 2.7: Třícestný, oxidačně – redukční katalytický konvertor [27].....	23
Obr. 2.8: Účinnost katalyzátoru v závislosti na součiniteli přebytku vzduchu [27].....	24
Obr. 2.9: Katalytický systém motoru FSI pro periodickou likvidaci NO <sub>x</sub> [27].....	25
Obr. 2.10: Schematické znázornění vnější recirkulace spalin [27].....	26
Obr. 2.11: Závislost m <sub>pe</sub> , HC, NO <sub>x</sub> vzhledem k podílu recirkulace spalin [27].....	26
Obr. 2.12: Schématické zobrazení filtru pevných částic [29].....	27
Obr. 2.13: Schématické zobrazení selektivní katalytické redukce [27].....	28
Obr. 3.1: Časový průběh zkušebního cyklu WHTC [35] .....	34
Obr. 3.2: Vývojový diagram sledu zkoušek dle EHK 49 [35].....	36
Obr. 4.1: Schematické znázornění opacitometru [40] .....	37
Obr. 4.2: Schematické znázornění měření kouřivosti pomocí opacitometru [40] .....	38
Obr. 4.3: Absorpční spektrum různých plynů blízké infračervené oblasti [38] .....	38
Obr. 4.4: Schematické zobrazení detektoru FID [37] .....	39
Obr. 4.5: Schematické znázornění chemiluminiscenční analýzy [40].....	40
Obr. 4.6: Schematické zobrazení analyzátoru kyslíku [40] .....	41
Obr. 4.7: Schématické vyobrazení systému emisního měření s ředěním plného toku CVS [35] .....	42
Obr. 5.1: Porovnání hodnot emise CO <sub>2</sub> vypočtené s udanou výrobcem.....	50
Obr. 5.2: Průměrné emise CO <sub>2</sub> vozového parku .....	53
Obr. 5.3: Porovnání úspory emisí vzhledem k alternativnímu vozovému parku .....	54
Obr. 5.4: Úspora emisí CO <sub>2</sub> za období 3 let.....	56
Obr. 5.5: Podíl emisí CO <sub>2</sub> a HC.....	57



Obr. 5.6: Emise CO u měřených vozidel .....	58
Obr. 6.1: Náklady na pohonné hmoty dle reálné spotřeby a spotřeby deklarované výrobcem .....	60
Obr. 6.2: Grafické znázornění kupní ceny vozu a nákladů na provoz.....	62
Obr. 6.3: Náklady na provoz zahrnující pronájem vozidel po dobu 5 let.....	64

## SEZNAM TABULEK

Tabulka 1.1: Základní parametry propanu, butanu a benzínu [2].....	5
Tabulka 1.2: Porovnání emisí zážehového a vznětového motoru [10].....	9
Tabulka 1.3: Příznaky otravy oxidem uhelnatým ve vztahu ke koncentraci a době expozice [11].....	10
Tabulka 2.1: Mezní hodnoty emisí pro EURO 6 [17] .....	14
Tabulka 3.1: Limitní hodnoty pro zkoušku typu I [34] .....	30
Tabulka 3.2: Limitní hodnoty pro zkoušku typu VI [34] .....	31
Tabulka 3.3: Limitní hodnoty pro zkoušku OBD [34] .....	32
Tabulka 3.4: Limitní hodnoty zkušebních cyklů WHSC a WHTC [35] .....	33
Tabulka 4.1: vstupní údaje ze zkoušky typu I [40].....	44
Tabulka 4.2: Referenční údaje paliv [42],[43],[44] .....	46
Tabulka 5.1: Parametry zkoumaných vozidel dle výrobce [47] .....	48
Tabulka 5.2: Spotřeba paliva .....	51
Tabulka 5.3: Procentuální vyhodnocení emise CO <sub>2</sub> .....	53
Tabulka 5.4: Alternativní vozový park a emise CO <sub>2</sub> .....	54
Tabulka 5.5: Data vozového parku za období 3 let .....	55
Tabulka 6.1: Finanční náklady provozu pro rok 2018.....	59
Tabulka 6.2: Roční sazba daně osobních vozidel dle zdvihového objemu [50].....	61
Tabulka 6.3: Finanční náklady provozu pro rok 2018 spolu s daní silniční.....	61
Tabulka 6.4: Náklady na provoz vozidel, vycházející z reálné spotřeby a průměrné ceny pronájmu .....	63

## SEZNAM PŘÍLOH

<b>A</b>	<b>EMISE VOZOVÉHO PARKU</b>	<b>72</b>
A.1	Data pro vozidla s motorizací 1,4 TSI 110 kW .....	72
A.2	Data pro vozidla s motorizací 2,0 TDI 110 kW .....	72
A.3	Data pro vozidla s motorizací 1,4 TSI 81 kW G-TEC.....	73
<b>B</b>	<b>Finanční analýza vozového parku</b>	<b>79</b>
B.1	Data pro vozidla s motorizací 1,4 TSI 110 kW .....	79
B.2	Data pro vozidla s motorizací 2,0 TDI 110 kW .....	79
B.3	Data pro vozidla s motorizací 1,4 TSI 81 kW G-TEC.....	80

B.4	Vývoj finančních nákladů na pohonné hmoty (dle reálné spotřeby z provozu) včetně kupní ceny vozidla .....	86
<b>C</b>	<b>EMISNÍ MĚŘENÍ VOZIDEL</b>	<b>87</b>
C.1	Hodnoty měření pro vozidlo s motorem 1,6 TDI 77 kW .....	87
C.2	Hodnoty měření pro vozidlo s motorem 1,4 TSI 81 kW G-TEC s pohonem na benzin .....	87
C.3	Hodnoty měření pro vozidlo s motorem 1,4 TSI 81 kW G-TEC s pohonem na stlačený zemní plyn.....	88

# ÚVOD

Stále častěji skloňovaným tématem z oblasti automobilové dopravy jsou právě emise a škodlivé částice výfukových plynů. Výrobci vozidel tak čelí nátlaku na neustále se zpřísnující limity. Děje se tak z důvodů prokazatelně škodlivých vlivů nejen na životní prostředí, ale i na lidské zdraví.

První kapitola pojednává o základních palivech pro automobilovou dopravu. Jsou zde vystihnuty vybrané parametry těchto paliv a jejich charakteristika. Dále práce pojednává o emisích výfukových plynů. Zachycuje typické emisní složení spalovacích motorů a rozebírá mechanismus, kterým jednotlivé emise vznikají, spolu s vlivem na lidské zdraví a životní prostředí.

Druhá kapitola se zabývá současnou snahou snížit emise automobilové dopravy. Popisuje nejnovější Evropskou emisní normu EURO 6 a také novou metodiku měření emisí. Součástí je zde také přehled základních prvků vozidel, které umožňují snižování určitých emisních složek, což dá čtenáři jakýsi přehled o principech vzniku škodlivin a jejich potlačování těmito prvky, či konstrukčním řešením samotného motoru.

Dále práce pojednává o emisním měření vozidla jako celku, které vychází z předpisu EHK 83 a je rozděleno do celkem sedmi dílčích zkoušek tohoto měření. Rozebírán je zde i postup dle předpisu EHK 49, který se zaměřuje na zkoušení samostatné pohonné jednotky.

Analytické metody, které práce zmiňuje, jsou obecně používanými metodami v oblasti měření exhalací automobilů a z těchto poznatků také vychází určování emisních složek pomocí výpočtů z naměřených dat.

Pátá část je zaměřena na analýzu vozového parku, která vychází především z dat získaných sběrem z reálného provozu a teoretických poznatků čtvrté části práce.

Poslední kapitolou je pak finanční vyhodnocení daného vozového parku, které poskytne pohled na věc nejen z hlediska emisí výfukových plynů vozidel, jako tomu bylo v částech předešlých, ale umožní pohled na věc i ze stránky financí.

# 1 POHONNÉ HMOTY A EMISE V DOPRAVĚ

## 1.1 Současné druhy paliv

V prvním přiblížení je třeba rozdělit paliva pro pohon motorových vozidel do několika skupin. Do kategorie kapalných uhlovodíkových paliv spadají: benzin, nafta a petrolej. Plynná uhlovodíková paliva se dělí na propan-butan a zemní plyn. Dále tu jsou paliva vznikající zpracováním biomasy. Mezi ty kapalné patří etylalkohol, metylalkohol a rostlinné oleje spolu s jejich deriváty. Plynná biopaliva jsou pak bioplyn, kalový plyn a dřevoplyn. Poslední kategorií jsou paliva alternativní v podobě elektřiny a vodíku. [1]

Dále nás u paliv pro spalovací motory zajímají jejich vlastnosti, jako je schopnost tvořit ve spojení se vzduchem zápalnou směs, výhřevnost, chemická stabilita. Je zde kladen nárok na nízký obsah nečistot v palivu a při spalování na škodliviny s tím spojené. Společnými požadavky pro veškeré druhy paliv a pohonů je jejich nízká cena, snadná manipulovatelnost, skladovatelnost a bezpečnost. [3]

### 1.1.1 Benzin

Jedná se o kapalně uhlovodíkové palivo, které je získáváno frakční metodou, tj. destilací ropy, popřípadě jej lze získat zpracováváním olejnatých břidlic a jinými petrochemickými metodami. [1]

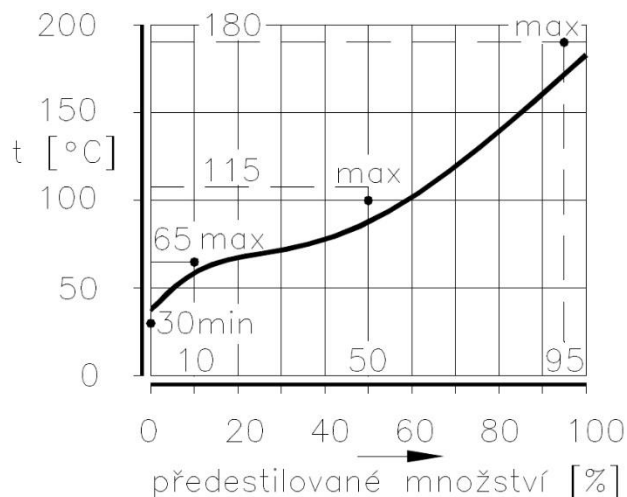
Nejrozšířenější metodou extrakce je destilace při atmosférickém tlaku, kdy je právě benzin získáván v rozmezí teplot od 30 °C do 200 °C. Jeho hustota se pohybuje při 15 °C mezi 720 až 775 kg·m<sup>-3</sup>. [1]

Jedním ze zkoumaných parametrů benzínu je jeho odpařitelnost, která se posuzuje destilační křivkou. Kdy nejmenší teplota počátku křivky odpovídá rozmezí 25 °C až 40 °C v závislosti na klimatu. Tato počáteční teplota určuje minimální ztráty odparem, děje se tak z hlediska požární bezpečnosti a skladovatelnosti. Pro naše pásmo se tato teplota pohybuje okolo 35 °C, v severských zemích je naopak nižší. [1], [2]

Startovatelnost motoru je ovlivňována tzv. 10 % bodem, teplotní rozsah je zde 45 °C až 60 °C a sezóně se tento bod upravuje, kdy v zimních měsících je třeba vyšší odpařitelnost, proto se hranice posouvá směrem k nižší teplotě. [1], [2]

Při teplotě cca 115 °C dochází k výparu zhruba 50 % benzínu, v tomto rozsahu dochází k postupnému ohřívání motoru na provozní teplotu a souvisejí s ním i akcelerační vlastnosti motoru. Jinými slovy, čím vyšší tato teplota je, tím pomaleji se část benzínu odpařuje a dochází k navýšení spotřeby vlivem nekvalitního spalování v motoru. [1], [2]

Poslední bod křivky ukazuje teplotu 180 °C, při které dojde k odpaření 95% benzínu. Tento bod má vliv na úplné vyhoření benzínu ve válci motoru. Pokud by benzin obsahoval uhlovodíky s vyšší teplotou varu, než je 200 °C, benzin by se zcela neodpařil a došlo by ke kondenzaci těchto nespálených uhlovodíků na stěně válce a následnému ředění motorového oleje. [1]



Obr. 1.1: Destilační křivka benzínu [3]

Dalším důležitým parametrem benzínu je jeho oktanové číslo, které je u paliva získaného frakční destilací nízké. V důsledku toho by v zážehových motorech docházelo k místnímu vzplanutí části paliva se vzduchem a následným detonačním rázům, které se projevují jako klepání motoru. [1], [2]

Oktanové číslo nám tedy určuje odolnost paliva proti detonačnímu zahoření. Jako reference se zde používá směs izooktanu  $C_8H_{18}$  (OČ = 100) a n-heptanu  $C_7H_{16}$  (OČ = 0), pomocí které je pak dané palivo ověřováno. Palivo s oktanovým číslem 95 % nám říká, že má stejnou odolnost jako směs 95 % oktanu s 5 % heptanu. [1]

Kvůli detonačním vlastnostem jsou do benzínu přimíchávány antidetonátory, jako benzen, toluen a xylen s oktanovým číslem 108-112, které tak snižují vznik detonací v motoru. V současné době došlo k úplnému vyloučení sloučenin na bázi olova (tetraethylolovo, popřípadě tetramethylolovo), které mají velký dopad na životní prostředí a kvůli rakovinotvorným účinkům benzenu dochází i k jeho omezování. Benzin, který u nás známe jako natural 95 (nově také E5), obsahuje 1% benzenu. [1]

Organické antidetonátory jako alkoholy, fenoly a éter jsou v palivu hůře rozpustitelné a neekonomické kvůli nižšímu obsahu energie.[1]

Současné metody a požadavky na bezolovnatá benzinová paliva a jejich tabulkové hodnoty určuje evropská směrnice ČSN EN 228. [4]

### 1.1.2 Nafta

Toto palivo je určeno pro vznětové motory. Opět se jedná o kapalnou směs uhlovodíků, která má rozpětí teplot varu od 150 °C do 360 °C a rozptyl hustoty je při 15 °C 720 až 850  $kg \cdot m^{-3}$ , vyrábí se smísením petroleje s těžším destilátem, plynovým olejem. Dále může obsahovat přísady, které zlepšují její funkční vlastnosti (detergenty, mazací přísady, inhibitory koroze apod.). [1]

U motorové nafty je posuzováno z hlediska jakosti hned několik parametrů, jako jsou: destilace, hustota, viskozita, karbonizační zbytky, cetanové číslo, korozivnost paliva a s nízkými teplotami spojená filtrovatelnost a teplota vylučování parafinů. [1]

Počáteční bod varu motorové nafty je normován z důvodů požární bezpečnosti od 55 °C do 100 °C, avšak nesouvisí s procesem spalování ve vznětovém motoru. Rozpětí destilační křivky se zde pohybuje od 180°C až 360°C. Dle ČSN EN 590 [5] jsou pak posuzovány teploty 250 °C, 300 °C a 360 °C, přičemž největší význam zde má teplota 360°C, kdy se musí předestilovat 95% nafty, děje se tak kvůli exhalačním limitům. V důsledku toho se křivka upravuje tak, aby byly v palivu zastoupeny těžké podíly co nejméně. [1]

Lehce odpařitelné složky mají za následek předčasné vznícení paliva, což vede k nárůstu tlaku a tvrdému chodu vznětového motoru. Při vyšším zastoupení těžkých frakčních složek, které se hůře odpařují, dochází k problémům se spalováním a zvyšuje se tvorba karbonových úsad. Neodpařené palivo dále smývá olejový film, což zapříčiňuje zvýšení opotřebení motoru. [1]

Dalším parametrem motorové nafty je cetanové číslo, avšak na rozdíl od oktanového čísla paliv pro zážehové motory není toto cetanové číslo mezní hodnotou. Vyšší hodnota vede ke kratší prodlevě vznícení nafty, což snižuje tlak na válce motoru a způsobuje tišší chod. Kratší prodleva má však za následek nedostatečné smísení paliva se vzduchem a nedostatečné hoření zde způsobuje vysokou produkci sazí. Příliš nízká hodnota zase vede k zvýšení doby prodlevy vznícení, které je doprovázeno tvrdým a hlučným chodem motoru. Cetanové číslo nám tedy udává zápalnost nafty a její schopnost přispívat ke snadnému startu motoru a jeho měkkému chodu [1]

Důležitým požadavkem na motorovou naftu je její konzistence, která je teplotně závislá. Při nízkých teplotách dochází k vylučování parafínů, ten zanáší celý systém přívodu paliva až do jeho ucpaní. S tím souvisí tzv. filtrovatelnost, pomocí které se na kontrolním filtru testuje průtok nafty při nízkých teplotách. Od počátku zimního období je tak nafta s předstihem upravována, aby splňovala požadavky na filtrovatelnost. [1]

S ohledem na životní prostředí, je nejvíce kontrolovaným parametrem nafty její obsah síry. Ta má za následek exhalaci oxidu siřičitého, což vede k zanášení aktivního oxidačního povrchu katalyzátoru a výraznému navýšení emisí. Pokud není použit oxidační katalyzátor, dochází k uvolnění oxidů síry do atmosféry a ve spojení se vzdušnou vlhkostí následné tvorbě kyselých dešťů.[1]

### **1.1.3 Plynná paliva**

Z hlediska přípravy směsi a následné provozuschopnosti jsou plynná paliva pro zážehové motory výhodnější, než je tomu u kapalných. Snazší tvoření zápalné směsi se vzduchem a jednodušší stavba molekul plynných paliv má za následek dokonalejší spalování, což se nezanedbatelně podílí na nižším obsahu škodlivin výfukových plynů.

Jelikož se jedná o suché palivo, nedochází ke smívání olejového filmu ze stěn válce motoru a ani ředění olejové náplně. Pomocí úprav lze jednoduše předělat ryze benzinové motory na plynný pohon, což s sebou nese jak finanční úspory, tak i navýšení dojezdu v případě duálního provozu benzin/plyn.

Jejich hlavní nevýhodou je nižší energetická výhodnost oproti kapalným palivům, nesnadné skladování a u osobních automobilů zástavba užitečného objemu vozu druhou palivovou nádrží. [1]

- **LPG (Liquified Petroleum Gas)**

Jedná se o jednu z nejrozšířenějších verzí plyných uhlovodíkových paliv v podobě směsi kapalného propanu a butanu. Plyn vzniká jako vedlejší produkt těžby ropy nebo zemního plynu. Za normálních podmínek je směs propanu a butanu plyná, lze ji však jednoduše zkapalnit poměrně nízkým tlakem a zmenšit tak objem v poměru 250:1, což znamená, že z objemu 250 litrů plyné fáze získáme 1 litr kapalného paliva. Tlak potřebný pro zkapalnění propanu je roven 0,85 Mpa při teplotě 20 °C, u butanu je to 0,23 Mpa. Výhodou je nízký tlak, potřebný ke stlačení plynu, který tímto usnadňuje skladování paliva. [1]

V následující tabulce jsou zobrazeny základní parametry obou plynů v porovnání s benzinem.

Tabulka 1.1: Základní parametry propanu, butanu a benzínu [2]

	<b>Propan</b>	<b>Butan</b>	<b>Benzin</b>	<b>Zemní plyn</b>
<b>hustota při 15 °C [kg·m<sup>-3</sup>]</b>	508	584	720-775	0,56-0,7
<b>tlak par při 37 °C [kPa]</b>	1210	260	50-90	-
<b>teplota varu [°C]</b>	-42,6	-0,6	30-200	-162
<b>oktanové číslo</b>	97	89	85-87	128
<b>výhřevnost hmotnostní [MJ·kg<sup>-1</sup>]</b>	46,37	45,78	44,03	34,679

Díky nízké toxicitě výfukových plynů se toto palivo rozšířilo nejen do běžné automobilové dopravy, ale je hojně využíváno i u průmyslových vozidel, jako jsou například vysokozdvizné vozíky, kdy toto palivo umožňuje jejich pohyb v částečně, či špatně větráných halách.

Hlavní nevýhodou propanu a butanu je jejich vyšší hustota oproti vzduchu. Pokud by došlo k případnému úniku paliva z vozidla, plyn by se držel u země a v případě podzemních garáží, by toto mohlo mít z hlediska špatného odvětrávání fatální následky v podobě požáru. Tento problém se v současné době řeší výstavbou nových podzemních garáží s odvětrávacím systémem, kde se počítá s vjezdem vozidel na LPG. [1]

Pohon v podobě LPG s sebou nese nejen výhody v podobě úspory emisí, ale i snížení finančních nákladů na samotný provoz vozidla. Cena montáže systému LPG se pohybuje v průměru okolo 30 000 Kč. Pokud uvažujeme současnou průměrnou cenu benzínu okolo 32 Kč za l a LPG s cenou 15 Kč za l, činí finanční úspora při průměrné spotřebě vozidla 8 l·100 km<sup>-1</sup> ve prospěch LPG 1,24 Kč za 1 km. Při měsíčním nájezdu 2500 km je za jeden rok uspořeno 37 200 Kč.

- **CNG (Compressed Natural Gas)**

Systém tohoto typu pracuje se stlačeným zemním plynem, který je získáván přímou těžbou. Jeho složení je tvořeno z 90 % metanem. Přibližně 1 % až 6 % zastupuje etan a zbytek tvoří nehořlavé složky v podobě dusíku a oxidu uhličitého. [1]

V porovnání se systémem na LPG je značnou nevýhodou velký zástavbový objem nádrží na CNG, kde je plyn uchováván pod tlakem 20 Mpa.

Kompresní poměr je u tohoto tlaku 200:1 a množství energie je oproti kapalným



uhlovodíkovým palivům zhruba 4 až 5 krát menší. [1]

Užívání zemního plynu pro pohon má významný přínos na snižování ekologických dopadů dopravy. Odvíjí se to především z jeho složení, které majoritně tvoří jednodušší uhlovodíky. Spalováním zemního plynu vzniká daleko menší škála škodlivin, než je tomu u benzínu či nafty a ty které vznikají při spalování zemního plynu, jsou zastoupeny v několikanásobně menší míře, proto se dnes setkáváme stále častěji s autobusy na CNG. Pokud porovnáme klasický dieselový provoz autobusu s tím na zemní plyn, jsou emise CO zhruba 15 krát menší a NO<sub>x</sub> až 5 krát menší. [1]

Mimo výhod v podobě ekologických dopadů, je další výhodou zemního plynu jeho nižší hustota oproti vzduchu. Při úniku z nádrže se plyn rozptýlí a snižuje se tak riziko vzniku požáru. Automobily s tímto systémem mohou také do odvětrávaných podzemních garáží, přičemž nároky na techniku a požární zabezpečení jsou zde nižší oproti LPG. Nádrže na CNG jsou oproti těm na systém LPG, naftu a benzin o mnoho robustnější a zakomponovány jsou mimo deformační zóny vozidla, reálně se tak zvyšuje bezpečnost provozu těchto vozidel. Jistou výhodou přináší i jednotný platební systém, kdy provozovateli CNG čerpacích stanic jsou plynárenské společnosti a uživatel obdrží jednou měsíčně fakturaci s výpisem o tankovaném objemu a platba probíhá převodem z účtu, popřípadě inkasem.

- **LNG (Liquified Natural Gas)**

Vozidla s tímto pohonem využívají stejný typ paliva jako je tomu u systému CNG. Rozdíl je pouze v uchovávání paliva, kdy je v tomto případě zemní plyn zkapalněn při teplotě -162°C ve speciálních kryogenních nádržích. [1]

Hlavní nevýhody systému LNG jsou odpar z nádrží při delší odstávce a oproti CNG je tato technologie složitější a nákladnější na provoz. [1]

Plnicí stanice jsou podobné těm se systémem LPG s tím rozdílem, že zásobník na kapalný zemní plyn je soustavně ochlazován na teplotu -160 °C až -170 °C pomocí kapalného dusíku. Rozdíl oproti stanicím na CNG je v tom, že stanice na LNG nepotřebují plynovou přípojku. Nicméně jsou tyto stanice více energeticky náročné. Palivo je zde dopravováno pomocí silničních kryogenních cisteren, což s sebou přináší i rizika provozu těchto stanic. [1]

### **1.1.4 Elektřina**

Z hlediska omezených kapacit fosilních paliv, které nás jsou schopny podle současných odhadů zásobovat zhruba jen několik desetiletí, je hledání patřičné náhrady na místě. Snaha o nalezení úspornějších motorových jednotek sice přináší výsledky v podobě snižování emisí a globální úspory paliva, stále však dochází k zátěži životního prostředí

V současné době nastává pozvolný rozmach elektromobilů na bateriový pohon, které by v kombinaci s obnovitelnými zdroji energie měly šanci uspět. Elektromobily vynikají v mnoha ohledech oproti konvenčním pohonům. Elektromotory disponují konstantním krouticím momentem, oproti spalovacím motorům, které mají výkonnostní špičku v určitém spektru otáček, produkují minimální hluk a nulové emise. Jejich nevýhodou je poměrně malé pole působnosti oproti klasickému pohonu v podobě nižšího dojezdu, doby nabíjení a malé distribuce dobíjecích stanic.

Tuto situaci se snaží napravit světoví výrobci automobilů a distributoři elektrické

energie. Vzniká tak koncept rychlonabíjecích stanic, kdy je možné vůz nabít do kapacity 80 % v řádech minut. Dalším z řešení je normovaný systém, kdy bude možné vozy dobíjet při jejich odstávce na parkovištích obchodních center, podzemních garážích atd. [6]

Základními předpoklady pro masovou distribuci elektromobilů jsou nižší pořizovací náklady oproti konvenčně poháněným vozům, možnost kdykoliv vůz dobít a také rozšíření celkové distribuční infrastruktury elektrické energie, popřípadě efektivní řízení zatížení sítě. [6]

### **1.1.5 Vodík**

V případě vodíku se jedná o prakticky nevyčerpatelný obnovitelný zdroj energie, která je v něm při rozkladu uchována do okamžiku zpětného převodu, tedy spalení v zážehovém motoru nebo výrobě elektřiny v palivovém článku.

Nevýhodou spalovacího systému je nutnost uchovávat vodík stlačený, kdy je jeho teplota zkapalnění  $-253\text{ }^{\circ}\text{C}$  a tlak se pohybuje v rozmezí 25 Mpa až 70 Mpa. Při úniku vodíku z vozu může dojít k jeho ohřevu vlivem expanse a následnému samovznícení. Další nevýhodou je jeho nákladná výroba. Z hlediska emisí nevzniká při spalování vodíku oxid uhličitý a díky nízké teplotě spalování vzniká jen minimální množství oxidů dusíku, které je možno potlačit recirkulací spalin popřípadě redukčním katalyzátorem. [1]

Mimo spalování lze vodík využít v palivovém článku a lze tak získat energii s dvojnásobnou účinností oproti spalování, vlivem přímé přeměny chemické energie na elektrickou. Nevýhodou toho systému je stále vysoká cena palivových článků. [2]

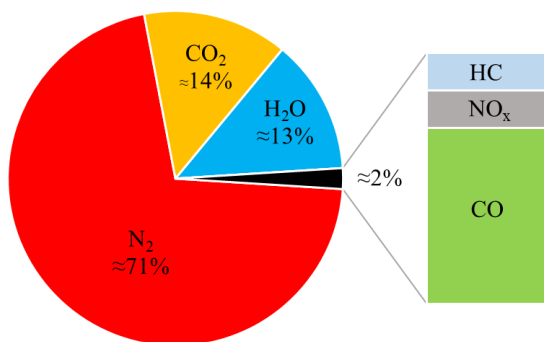
## **1.2 Emise škodlivin a složení výfukových plynů**

Spalovací motory pracují na principu spalování směsi uhlovodíkových paliv spolu se vzduchem za doprovodu oxidace hořlavých komponent paliva s kyslíkem, který je obsažen ve vzduchu a palivu, ve spalovacím prostoru motoru, kde dochází během toho ke skokovým změnám teplot a tlaků. Následkem veškerých reakcí ve spalovacím motoru dochází k tvorbě nových složek ve všech skupenstvích, které následně opouští spalovací prostor motoru. Některé složky vznikají a reagují až při průchodu výfukovým systémem. Veškeré tyto složky, které vozidlo emituje, nazýváme komplexně emise. [9], [8]

Podle současných analýz mohou výfukové plyny spalovacích motorů obsahovat až 160 jednotlivých složek. Tvar spalovací komory ovlivňuje emisi nespálených uhlovodíků, které vznikají vlivem vysokého poměru kontaktního prostoru komory. V tomto případě je tedy vhodná kompaktní komora s malým povrchem. Dále se na tvorbě emisí podílí poloha zapalovacích svíček, popřípadě žhavení u diesellových motorů, časování ventilů a mnoho dalších. [9], [8]

Výraznému snížení emisí napomohlo zavedení systémů vozidla, které tyto emise redukuje, popřípadě některé složky zcela eliminují. Konkrétně se jedná o katalytické konvertory výfukových plynů, recirkulace spalin a v případě diesellových vozidel i filtr pevných částic, který se stále častěji objevuje i u benzinových motorů. [9], [8]

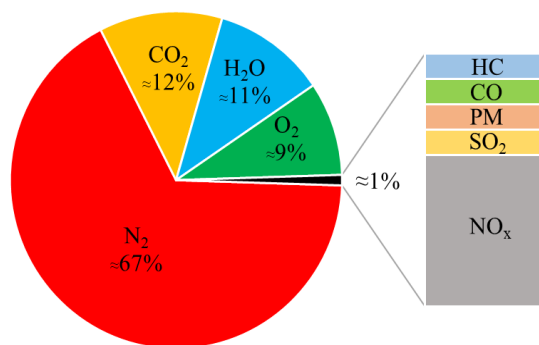
Významným faktorem ovlivňujícím emise je i typ pohonné jednotky a druh paliva. Zážehové motory mají oproti vznětovým vyšší podíl oxidu uhelnatého CO, který závisí čistě na poměru vzduchu a paliva a to i při vyšší koncentraci vzduchu, která napomáhá dokonalejšímu spalování, děje se tak vlivem nehomogenní tvorby zápalné směsi. Vznik volných uhlovodíků HC (nespalené uhlovodíky) zapříčiňuje nedostatek vzduchu, vlivem toho dochází k neúplnému spálení, popřípadě vynechání zážehu, tato směs poté postupuje dále výfukovým systémem. Emise oxidů dusíku vznikají oxidací atmosférického dusíku, který je součástí spalovacího vzduchu. V případě turbomotorů se emise NO<sub>x</sub> zvyšují, jelikož dochází k vyšší objemové účinnosti díky stlačení vzduchu, jinými slovy, motor spotřebuje vyšší množství vzduchu za stejnou časovou jednotku jako motor bez turbodmychadla. [9], [8]



Obr. 1.2: Složení výfukových plynů zážehového motoru [7]

Diesellové motory produkují zmíněné složky v mnohem menší míře, pracují totiž s přebytkem vzduchu, výsledkem toho je menší podíl oxidu uhelnatého oproti benzinovému motoru. Jelikož je tvorba NO<sub>x</sub> závislá na teplotě, tlaku, době hoření a přítomnosti kyslíku, emitují diesellové motory několikrát vyšší hodnoty oxidů dusíku. [10]

Dále jsou u zážehových motorů vlivem vyšší koncentrace síry v naftě přítomny složky oxidu siřičitého SO<sub>2</sub>. U starších typů vozidel se můžeme setkat s vysokou produkcí černého kouře. Jedná se o pevné částice PM, které vznikají nedokonalým shořením paliva, byť i malého podílu. Při vysoké teplotě a tlaku, za nedostatku kyslíku dojde ke krakování paliva, jinými slovy proběhne štěpení velkých molekul paliva. Na povrchu kapiček vstříknutého paliva dojde ke spálení, kdežto uvnitř je nedostatečné množství kyslíku, vlivem toho již uhlík neshoří a dochází k značné kouřivosti. [10]



Obr. 1.3: Složení výfukových plynů vznětového motoru [12]

Následující tabulka porovnává tři typy emisí, které jsou totožné pro oba spalovací motory, jak benzinový, tak dieselový. Zde je patrné, že v případě emisí NO<sub>x</sub> je na tom dieselový motor hůře, děje se tak z důvodů uvedených výše.

Tabulka 1.2: Porovnání emisí zážehového a vznětového motoru [10]

motor	CO [g·km <sup>-1</sup> ]	HC [g·km <sup>-1</sup> ]	NO <sub>x</sub> [g·km <sup>-1</sup> ]
zážehový	0,5-0,8	0,03	0,02-0,05
vznětový	0,2-0,3	0,03	0,40-0,50

Jak již bylo řečeno, existuje široká škála látek, které vozidla vypouštějí do ovzduší, není proto možné detailněji popsat každou jednu z nich. V následujících podkapitolách budou nastíněny ty nejsledovanější, kde bude popsán mechanismus jejich vzniku a účinky na lidské zdraví.

### 1.2.1 Oxid uhelnatý CO

Vzniká důsledkem nedokonalé oxidace uhlíku, který obsahuje palivo ve spojení s nízkým obsahem kyslíku, který je zastoupen ve spalované směsi (například špatné seřízení motoru, zanesený vzduchový filtr apod.). Jinými slovy, motor spaluje bohatou směs a nedochází k dokonalé reakci, kdy jsou tvořeny produkty dokonalého hoření CO<sub>2</sub> a H<sub>2</sub>O. Další z příčin jeho vzniku může nastat i při přebytku kyslíku ve směsi, kdy dojde k zamrznutí oxidační reakce ve fázi přeměny CO na CO<sub>2</sub>. Tento jev nastává, pokud dojde k rychlému ochlazení spalín (například o stěnu motoru, popřípadě expanzí spalín) a nízké zátěži motoru (například volnoběh). Dalším modelem vzniku může být převýšení teploty nad 2000 °C, to doprovází disociace produktů dokonalého hoření a produkty CO<sub>2</sub> a H<sub>2</sub>O jsou rozloženy na CO a H<sub>2</sub>. [9]

Vznětové motory jsou na tom z hlediska emisí CO lépe a produkují jej v menší míře. Oxid uhelnatý oxiduje na CO<sub>2</sub> a k nárůstu dochází až při vyšším zatížení motoru, avšak než se projeví produkce CO, řídicí systémy detekují zvýšenou kouřivost a omezí průtok paliva, čímž zamezí nadbytečné tvorbě oxidu uhelnatého. [7]

Oxid uhelnatý je pro lidský organismus jedovatý. Nebezpečí spočívá v jeho vázání se na hemoglobin a tvorbu karboxyhemoglobinu, který snižuje množství kyslíku v krvi.

Tabulka 1.3: Příznaky otravy oxidem uhelnatým ve vztahu ke koncentraci a době expozice [11]

Koncentrace CO ve vzduchu [ $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$ ]	Doba expozice	Příznaky otravy
40	8 hodin	Maximální množství po danou dobu schváleno WHO
230	2-3 hodiny	Mírná bolest hlavy, únava, závratě, nevolnost
460	1-2 hodiny	Silné bolesti hlavy, riziko ztráty života po 3 hodinách
920	45 minut	Silná nevolnost, zvracení, bezvědomí, do 3 hodin smrt
1840	20 minut	Silné bolesti hlavy, zvracení bezvědomí do 10 až 20 minut, do 1 hodiny smrt
3680	5-10 minut	Smrt v průběhu 25 až 30 minut
73600	1-2 minuty	Smrt v průběhu 10 až 15 minut
14720	< 1 minuta	Bezvědomí po 2 až 3 nadechnutích smrt do 3 minut

Uvedené informace platí pro zdravého jedince a na rizikové skupiny mohou mít znatelnější dopad. Konkrétně se jedná o novorozence a děti, dále těhotné ženy, seniory a lidi se srdečními a respiračními chorobami. [11]

Negativní koncentrace oxidu uhelnatého se uvádí jako mez NPK-P (viz kap. 1.2.3) a nelze ji v žádném případě překročit, například v pracovním prostředí. Maximální přípustné množství, které stanovuje NKP-P je  $0,04 \text{ g}$  oxidu uhelnatého na  $1 \text{ m}^3$ . [11]

## 1.2.2 Oxid uhličitý $\text{CO}_2$

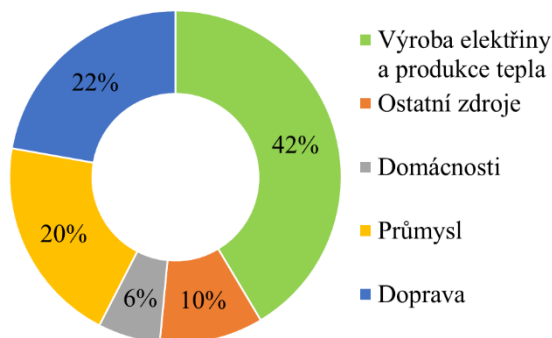
Jedná se o produkt dokonalého spalování uhlovodíkových paliv. Bezbarvý, bez zápachu, stabilní a málo reaktivní. Na lidský organismus nemá příliš velký vliv. Nepříznivě působí při vyšší koncentraci nad 8 %, což může zapříčinit bolesti hlavy, důsledkem vytěsňování kyslíku v dýchacím vzduchu. [12], [9], [14]

Oxid uhelnatý se stal strašákem, který stojí za globálním oteplováním. Řadí se mezi skleníkové plyny, které zapříčiňují tvorbu radiační clony. Odražená sluneční energie ze zemského povrchu činí zhruba 30 %, tyto skleníkové plyny absorbují odražené infračervené záření a zamezují vyzařování tepla země do okolí. [12], [9], [14]

Jeho podíl na globálním oteplování oproti jiným skleníkovým plynům ( $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{O}_3$  a další) je okolo 50 %. Nutné je zde však zmínit, že vzniká i při přírodních pochodech, jako je živočišné dýchání, proces tlení a uvolňování z oceánského dna. Patří tedy k procesům, které hrají důležitou roli při utváření příznivého klimatu země. Co však nelze bagatelizovat je fakt, že antropogenní emise  $\text{CO}_2$  urychlují proces oteplování země. Průměrné oteplení činí  $0,8 \text{ }^\circ\text{C}$  nad úroveň před počátkem industrializace a každou dekádu dochází k nárůstu celosvětového průměru o  $0,09 \text{ }^\circ\text{C}$ . [12], [9], [14]

Celosvětová emise oxidu uhličitého se v roce 2011 pohybovala ve výši 34 miliard tun, a pokud nedojde k výrazným změnám, předpokládá se, že v roce 2020 bude tato

hodnota o 7 miliard tun vyšší. Pokračování v tomto trendu by tak v roce 2060 znamenalo nárůst teploty 4 °C a zvýšení hladiny oceánů o 0,5 až 1 m. [12], [9], [14]



Obr. 1.4: Antropogenní podíl emisí CO<sub>2</sub> [16]

Doprava je z tohoto hlediska druhým největším odvětvím, hned vedle průmyslu, podílejícím se na produkci emisí CO<sub>2</sub> v rozsahu 22 %.

### 1.2.3 Oxidy dusíku NO<sub>x</sub>

Jedná se o soubor oxidů dusíku, jenž je obsažen ve spalínách, přičemž největší zastoupení zde mají oxid dusnatý NO (až 95 %) a oxid dusičitý NO<sub>2</sub>. Další oxidy se ve spalínách vyskytují ve velmi omezené míře a nepředstavují významné riziko. Hustotou jsou dva výše zmíněné oxidy podobné vzduchu, tedy okolo 1,4 kg·m<sup>-3</sup> [15],[7],[9]

Tyto oxidy vznikají buď termicky, tedy vlivem oxidace dusíku, obsaženém ve vzduchu dopravovaném do spalovacího prostoru spolu se vzdušným kyslíkem, popřípadě kyslíkem obsaženém v palivu. Nebo promptně, kdy je molekulární dusík přeměňován přes meziprodukty na NO ve fázi spalování na rozhraní plamene radikálovými reakcemi za přítomnosti uhlovodíků. [15],[7],[9]

Jejich množství ve spalínách ovlivňuje především teplota a tlak. Pro jejich vznik je nutná vyšší aktivační energie, která zapříčiní zahájení oxidačních reakcí. Dále jejich tvorbu ovlivňuje bohatost směsi, koncentrace kyslíku, vzdušná vlhkost a v neposlední řadě rychlost spalování. [15],[7],[9]

Tyto podmínky odpovídají vznětovým motorům, u kterých dochází k výraznějším emisím NO<sub>x</sub> v režimu nejvyšší účinnosti motoru, kdy se pohybují ostatní emise na nízkých úrovních (především HC a CO). [15],[7],[9]

Zdravotní riziko představují ve vyšších koncentracích, kdy může docházet k poleptání dýchacích cest. Předpokládá se, že také existuje spojitost mezi nádorovými onemocněními a obsahem NO<sub>x</sub> v ovzduší. Česká republika má nastavené limit tímto způsobem: přípustný expoziční limit (celosměnový časově vážený průměr koncentrací plynů, par nebo aerosolů v pracovním ovzduší po dobu 8 pracovních hodin a méně) PEL – 10 mg·m<sup>-3</sup> a nejvyšší přípustný limit (koncentrace, které nesmí být zaměstnanec v žádném úseku směny vystaven) NPK-P – 20 mg·m<sup>-3</sup>. [15],[7],[9]

Environmentální problém představují NO<sub>x</sub> tím, že se spolu s uhlovodíky podílejí na tvorbě přízemního ozonu O<sub>3</sub> a skleníkovém efektu. [15],[7],[9]

### 1.2.4 Uhlovodíky $H_xC_y$

Látky, které stojí za charakteristickým zápachem výfukových plynů. Jedná se o souhrnné označení organických produktů nespálených uhlovodíků, dále nově vzniklých uhlovodíků spalovacím procesem a částečně oxidovaných uhlovodíků. [7],[14]

Tyto organické produkty nedokonalého spalování vznikají během oxidačního procesu paliva, popřípadě v průběhu spalování paliva ve válci, kdy může dojít k zastavení oxidačního procesu vynecháním zážehu paliva, či ochlazením spalované směsi o stěnu válce, dále mohou vznikat spalováním mazacího oleje vlivem netěsností pístních kroužků, vodítka ventilů atd. [7],[14]

Nejnižší škodlivosti dosahují zpravidla původní skupiny uhlovodíkového paliva, naopak extrémně škodlivé mohou být druhy uhlovodíků, které vznikají jako meziprodukt oxidace původní uhlovodíkové molekuly, u které nastane cyklus oxidační reakce jen z části (aldehydy). Tyto meziprodukty oxidačních reakcí patří do skupiny rakovinotvorných látek a ve spojení s pevnými částicemi, na které se vážou, dochází k jejich vdechování a usazování v lidském organismu. Z plynných látek je nejškodlivější například benzyperen, ze skupiny částečně zoxidovaných uhlovodíků jsou to pak skupiny aldehydů  $R-CHO$ , jejichž existence je spojována s nižším teplotním režimem motoru (např. nízké zatížení a studený start). [7],[14]

Mimo zdravotních rizik, jsou uhlovodíky ve spojení s oxidem dusným příčinou fotochemického smogu. Do této skupiny spadá i metan (nejjednodušší uhlovodík  $CH_4$ ), který se řadí na seznam skleníkových plynů s podílem 20 % zastoupení. [7],[14]

### 1.2.5 Oxidy síry $SO_x$

Produkují je především vznětové motory a jsou výsledkem oxidace síry obsažené v palivu. Převážně zde převládá oxid siřičitý  $SO_2$ , který stojí za vznikem kyselých dešťů. [13], [9]

Emise oxidů síry se mohou nepříznivě podílet na funkčnosti katalyzátorů, kdy způsobují jeho tzv. otravu. Síra naleptává katalytickou vrstvu, čímž může docházet k snížení jeho účinnosti a zamezení oxidačních procesů, kdy se mění  $CO$  a nespálené uhlovodíky na  $CO_2$  a  $H_2O$  a dále dochází k redukci  $NO_x$  na  $N_2$  a  $O_2$ . [13], [9]

Díky neustálému kontrolování motorové nafty a snaze eliminovat podíl síry (k roku 2009 zhruba 0,001 % v motorové naftě) však toto riziko klesá a v současné době jsou u nových paliv emise síry zanedbatelné. [13], [9]

### 1.2.6 Pevné částice PM

Vznikají výhradně u vznětových motorů a v menší míře u zážehových s přímým vstřikováním paliva. Jejich charakteristickou vlastností je zabarvování výfukových plynů do černa, především u starších typů vozidel. Vznikají nedostatečným okysličením spalované směsi, popřípadě spalováním mazacího oleje, který proniká při netěsnosti pístních kroužků do válců motoru. Dále má na jejich tvorbu vliv uspořádání spalovacího prostoru, složení motorového oleje a v neposlední řadě vyšší zatížení motoru při vyšších otáčkách a nízké provozní teplotě. [14],[7]

Velikost emitovaných částic se pohybuje v rozmezí od 20 nm až do 2  $\mu m$ . Přičemž

nejvyšší četnost tvoří částice o velikosti zhruba 100 nm. Převážně jsou složeny ze zhruba 70 % pevným uhlíkem, malým podílem sulfátů, až 28 % tvoří uhlovodíky a zbytek mohou být neidentifikovatelné sloučeniny. Toto složení je pouze orientační, neboť jej nelze přesně stanovit vzhledem k povaze tvorby pevných částic a na dodatečných zařízeních snižujících emise, převládá však uhlík, tvořený spalováním motorového oleje. [14],[7]

Škodlivost pevných částic vychází z jejich povahy. Jádro částice je tvořeno pevným uhlíkem a popelem, slouží tak jako nosič, na jehož povrch jsou sorbované látky ostatní, které mohou být toxické, mutagenní a karcinogenní. Řadí se sem např. PAH, nitro-PAH, oxy-PAH (skupiny polycyklických aromatických uhlovodíků). [14],[7]

Krátkodobá expozice způsobuje podráždění dýchacích cest a neurofyzilogické symptomy. Chronické vystavení pevným částicím vyvolává záněty a histopatologické změny v plicích. Podle odhadu je referenční koncentrace, která vede k rakovinotvornému efektu při delší expozici  $>5 \mu\text{g}\cdot\text{m}^3$ . Roli zde hraje také velikost částic. Velké částice je tělo schopno zachytit v horních cestách dýchacích a snáze vyloučit, malé částice pod  $0,1 \mu\text{m}$  postupují dále do plic, kde jsou unášeny do lymfatického systému a krevního řečiště. [14],[7]

Alarmující je především fakt, že zhruba 90 % tvoří právě malé částice  $< 0,1 \mu\text{m}$ .



## 2 SNIŽOVÁNÍ EMISÍ

Neustálá snaha o snižování emisí vede k úpravám předešlých emisních norem a udává nové standardy. Tím nejaktuálnějším, který se podepsal na celém spektru automobilového průmyslu je nástup nové emisní normy EURO 6.2 označované také jako 6c, která přišla v platnost 1. 9. 2018.

Evropská komise provedla vlastní výzkum a rešerši externích informací, kdy předmětem byla analýza zkoušek a postupů při schvalování typu motorových vozidel z hlediska emisí lehkých osobních a užitkových vozidel, jimiž se zabývá nařízení (ES) č. 692/2008. Ukázalo se, že vozidla disponující standardem EURO 6 nevyhovují stanoveným emisním limitům, které v reálném provozu značně přesahují, zejména pokud se jedná o vznětové motory a emise NO<sub>x</sub>. [17]

Tabulka 2.1: Mezní hodnoty emisí pro EURO 6 [17]

Kategorie	Referenční hmotnost RM [kg]	CO [mg·km <sup>-1</sup> ]		THC [mg·km <sup>-1</sup> ]		NMHC [mg·km <sup>-1</sup> ]		NO <sub>x</sub> [mg·km <sup>-1</sup> ]		THC+NO <sub>x</sub> [mg·km <sup>-1</sup> ]		PM [mg·km <sup>-1</sup> ]	
		PI	CI	PI	CI	PI	CI	PI	CI	PI	CI	PI <sup>(1)</sup>	CI
<b>M</b>	Všechny	1000	500	100	-	68	-	60	80	-	170	4,5	4,5
<b>N1-I</b>	RM ≤ 1 305	1000	500	100	-	68	-	60	80	-	170	4,5	4,5
<b>N1-II</b>	1305 < RM ≤ 1 305	1810	630	130	-	90	-	75	105	-	195	4,5	4,5
<b>N1-III</b>	1 760 < RM	2270	740	160	-	108	-	82	125	-	215	4,5	4,5
<b>N2</b>	Všechny	2270	740	160	-	108	-	82	125	-	215	4,5	4,5

PI – zážehový motor; CI – vznětový motor  
 THC – celková hmotnost uhlovodíků  
 NMHC – hmotnost nemethanových uhlovodíků  
 THC + NO<sub>x</sub> – součet hmotností uhlovodíků a oxidů dusíku  
<sup>(1)</sup> – pouze u vozidel s motorem s přímým vstřikováním  
 M – motorová vozidla, která mají nejméně čtyři kola a používají se pro dopravu osob  
 N1 – vozidla, jejichž nejvyšší přípustná hmotnost nepřevyšuje 3500 kg  
 N2 – vozidla, jejichž nejvyšší přípustná hmotnost převyšuje 3500 kg, ale nepřevyšuje 12 000 kg

Mimo zasazení se o snižování emisí, komise tímto nepřímo poukazuje na události z let 2015, mediálně nazývanými „dieselgate“, kdy výrobci automobilů používali systém, jenž rozpoznal laboratorní podmínky doposud používané metodiky měření emisí NEDC (viz kapitola 2.1). Nové nařízení (EU) 2016/646 se snaží výrobcům automobilů v užívání těchto systémů zabránit. Například uvedením zákazu „odpojovacích zařízení“ (definice uvedena v čl. 3 odst. 10 nařízení (ES) č. 715/2007), která snižují úrovně emisí regulačními mechanismy. [17]

Prosazování výše zmíněných emisních limitů probíhalo a probíhá v několika fázích. Současnou je právě EURO 6c, kdy tyto požadavky jsou vynucovány v plném rozsahu, ale bez kvantitativních emisních požadavků z reálného provozu. Limity jsou posuzovány zkušebním laboratorním cyklem a data z reálného provozu jsou použity pouze pro účely informativního charakteru. [17]

Dalším krokem je EURO 6d-TEMP, která vstoupí v platnost v září 2019 a bude se týkat nově registrovaných vozů z tohoto období (jak nově vyrobených, tak i starších modelů, disponujících třídou EURO 6). Tím dojde k přísnějšímu testování, kdy zkouška bude zahrnovat test v laboratorních podmínkách a zkoušku v reálném provozu, avšak bude zde nahlíženo na přechodné faktory, které dovolí odchylky od stanovených limitů (tyto faktory jsou stále předmětem jednání, proto není možné je zde v tomto okamžiku pro jednotlivé emise nastínit, jejich možná podoba je uvedena v nařízení evropské komise 2016/646 ). [17]

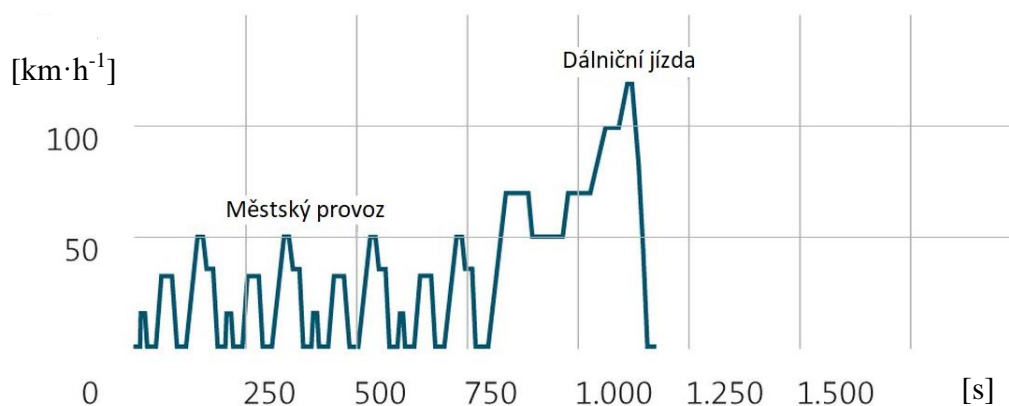
Poslední fází bude nástup EURO 6d v roce 2020, kdy budou emise vozidel podloženy jak testem v laboratorních podmínkách, tak daty z reálného provozu a bude vynucováno striktní dodržování emisních limitů. [17]

## 2.1 Systém testování NEDC

Neboli New European Driving Cycle, je normovaná zkouška emisí prováděna na zkušební brzdě. Jedná se o test v laboratorních podmínkách s neměnnými parametry, kdy je teplota ve zkušební místnosti v rozmezí 20 °C až 30 °C. Cyklus trvá 20 minut, přičemž vozidlo po tuto dobu ujede 11 km. První částí testu simuluje jízdu v městském provozu a trvá 13 minut, druhá potom jízdu mimo město s délkou 7 minut. Průměrná ujetá rychlost vozidla činí 33 km·h<sup>-1</sup> a doba po kterou se nachází v klidu (volnoběžný provoz) činí 25 %. Maximální dosažená rychlost vozidla je 120 km·h<sup>-1</sup>. Okamžiky řazení jednotlivých rychlostních stupňů jsou v případě manuální převodovky definovány. Dále zde není brán ohled na výbavu vozu. [17], [18]

Značnou nevýhodou této zkoušky je jistá netransparentnost výsledků, které v ideálních podmínkách splňovaly emisní limity, ale v reálném provozu byly tyto hodnoty mnohdy překročeny.

Zkouška také dávala prostor výrobcům vozidel, kteří mohli automobily na emisní měření připravit, kdy vůz rozpoznal parametry testu a pomocí řídicí jednotky upravil chod motoru tak, aby emisní limity splňoval.



Obr. 2.1: Schematické vyobrazení jízdního cyklu NEDC [18]

## 2.2 Systém testování WLTP

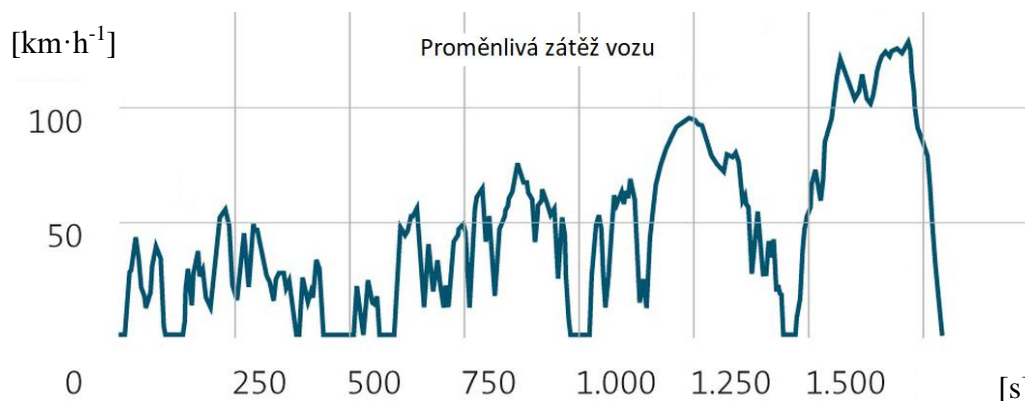
Vozidla registrovaná od 1. září 2018 bez ohledu na datum jejich homologace musí absolvovat nový model zkoušky WLTP (Worldwide Harmonized Light Vehicle Test Procedure), který přišel v platnost od září 2017. [17],[18]

Oproti staršímu systému NEDC je tady navýšena ujetá vzdálenost na 23 km a délka testu prodloužena na 30 minut. Změnila se i dynamika jízdního cyklu, který má nyní čtyři cykly, simuluje se tak rychlost v městském provozu, mimo město, normální dálniční provoz a jízda nad 130 km·h<sup>-1</sup>. Průměrná rychlost se také navýšila a to na 47 km·h<sup>-1</sup>. Doba, po kterou vozidlo stojí, poklesla na 13 %. Přerazování rychlostních stupňů se v rámci této zkoušky určuje individuálně vzhledem k vozu a zohledňuje se vybava vozu. Měření musejí podléhat veškeré možné kombinace vozu (nabízených pohonných jednotek a převodovek). [18]

Současně je tato metodika doplněna o testování v reálném provozu RDE (Real Driving Emissions), kdy je pro měření stanovena trasa, která je tvořena z jedné třetiny jízdou v městském provozu, jedné třetiny po silnici mimo obec a jízdou po dálnici. [18]

Vozidlo je při tomto testu vybaveno přenosným systémem pro měření emisí (PEMS), které měří emise oxidů dusíku a oxid uhelnatý. Délka zkoušky se provádí v intervalu 90 až 120 minut v rozmezí teplot -7 °C až +35 °C. [18]

Zahrnutí zkoušky měření v reálném provozu poskytne směrodatné data nejen z pohledu právě emisí, ale i spotřeby vozu. Je však nutno dodat, že toto značně omezí výrobce vozidel, kteří budou muset vyloučit ze svého portfolia vozy, které nebudou schopny nové emisní limity v rámci WLTP testování splnit.



Obr. 2.2: Schematické vyobrazení jízdního cyklu WLTP [18]

## 2.3 Systémy vozidel pro snižování emisí

Neustálý trend ve snaze snížit emise vede k vývoji nejen motorových paliv, ale i samotných systému vozidla a vozidel jako takových. Jedná se například o vývoj aerodynamických vlastností, redukce valivého odporu automobilů, snižování hmotnosti za použití nových metod při výrobním postupu. Dosažení co možná nejnižších emisních hodnot umožňuje právě sladění veškerých systému a procesů jak uvnitř motoru, tak vně. Vznětové motory mají redukci emisí uzpůsobenou k co možná nejmenší

produkci pevných částic, oxidů dusíků a oxidu uhličitého. Zážehové motory a jejich systémy jsou zase konstruovány především pro úsporu oxidu uhelnatého a uhličitého, jelikož je při jejich chodu zastoupení pevných částic menší v porovnání s těmi vznětovými. [19]

Systémy vozidel se v základu dělí na aktivní, které dokáží ovlivnit samotný proces spalování motoru a tím dovolí snížit jeho emise. Oproti tomu pasivní prvky tvorbě emisí nezabrání, ale dovedou svou funkcí účinně jednotlivé složky výfukových plynů zachytávat a redukovat na přijatelnou úroveň.

### 2.3.1 Snížení zdvihového objemu

Jedná se dnes o nejrozšířenější aktivní prostředek jak zabránit vyšší tvorbě emisí v případě spalovacích motorů. Downsizing, neboli snižování pracovního objemu válce, či snížení samotného počtu válců vede zákonitě k nižší spotřebě paliva a tím i nižší emisí škodlivin. Dojde tím však ke snížení samotného výkonu motoru. [19]

Klíčem pro zpětné navýšení výkonu a vyrovnání se objemnějším agregátům je tzv. přeplňování motoru, kdy do spalovacího prostoru není vzduch, či směs vzduchu a paliva pouze nasávána, ale pod tlakem vháněna. Pro srovnání lze uvést dva zážehové motory podobného objemu. Honda S2000 2,0 VTEC o objemu 1997 ccm, jedná se o nepřepřlňovaný 4 válec s výkonem 177 kW (240 HP) a krouticím momentem 208 Nm při 7500 ot. $\cdot$ min<sup>-1</sup>. Na straně druhé máme jednotku VW 2,0 TFSI s objemem 1984 ccm, také 4 válec, avšak přeplňovaný turbodmychadlem s výkonem 221 kW (300 HP) a krouticím momentem 220 Nm ve spektru 2500 až 4200 ot. $\cdot$ min<sup>-1</sup>. Tento příklad umožňuje pozorovat na výšení výkonu a krouticího momentu díky použitému přeplňování, není to však dobrý příklad downsizingu, vzhledem k tomu, že vyšší objem vzduchu umožňuje i navýšení množství spáleného paliva a tím vyšší emisivitu motoru při větším zatížení motoru VW 2,0 TFSI. Klíčem je tedy snížení objemu motoru a užití vhodného přeplňování, kdy se právě motory s nižším obsahem dokáží výkonově vyrovnat objemnějším agregátům za vzniku menší emisivity škodlivin. [20]

#### • Přeplňování

Lze jej rozdělit do několika skupin, jako je vnitřní přeplňování, které využívá vlastní konstrukce sacího potrubí. Otevírání a zavírání sacích ventilů způsobuje tzv. dynamické přeplňování, kdy dochází k šíření tlakových vln potrubím, jejichž frekvence je dána délkou potrubí a otáčkami motoru. Tlaková vlna, která dorazí k otevřenému sacímu ventilu, dokáže válec naplnit větším množstvím vzduchu, než by tomu bylo v případě prostým nasáváním. [20]

Náporové přeplňování zase využívá samotný pohyb vozu, vlivem kterého dochází ke zvýšení tlaku v sacím potrubí oproti stojícímu vozidlu. Tato metoda je však efektivní pouze při vyšších rychlostech převyšujících 100 km $\cdot$ h<sup>-1</sup>, využívá se proto převážně u závodních vozidel a v leteckém průmyslu. [20]

Nejrozšířenější metodou přeplňování je v současné době mechanické, fungující na principu vhánění vzduchu do spalovacího prostoru mechanickým prvkem, tzv. dmychadlem, známějším pod názvem kompresor. Opět existuje hned několik konstrukčních řešení, která se postupem času vyvíjela a zdokonalovala. Existuje dmychadlo poháněné pomocí klikového hřídele, které pracuje již v nízkých otáčkách motoru, má schopnost zvyšovat tlak bez prodlevy a projevuje se tak lineární závislostí

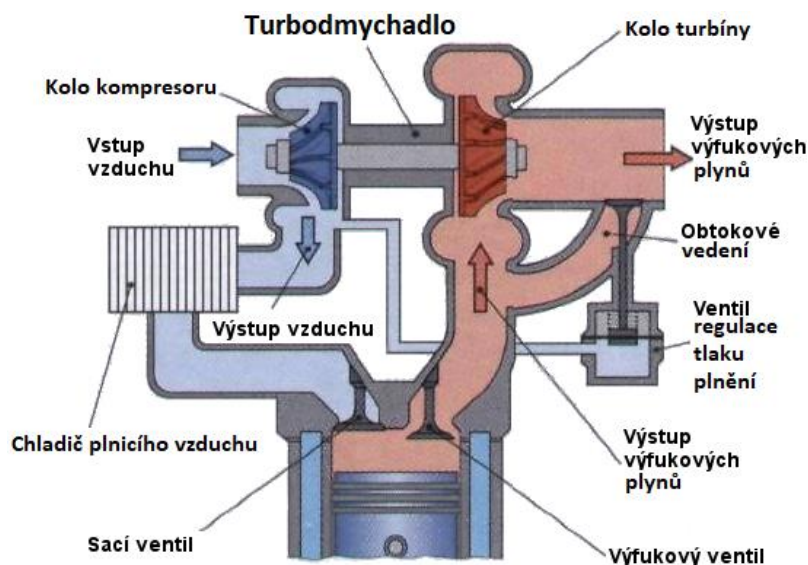
v množství dodávaného vzduchu na otáčkách motoru. Hlavní nevýhodou toho systému je odebrání výkonu samotnému motoru a tím zhoršení měrné spotřeby paliva. [20]

Mnohem důmyslnějším řešením je využití energie odpadních výfukových plynů. Účinnost spalovacích motorů se pohybuje v rozmezí 26 % až 31 %. Další energie, zhruba 30 %, činí tepelné ztráty a chlazení motoru, které jsou částečně využity pro vytápění kabiny. Ztráty v podobě tření mechanických částí motoru činí 6 % a odpadní energie výfukových plynů se pohybuje v rozmezí 32 % až 34 %, je proto nasnadě tuto energii využít pro pohon tzv. turbodmychadla. Výfukové plyny jsou vedeny vypouštěcím ventilem směrem k turbíně, kde jsou pomocí nich roztáčeny lopatky dmychadla. Stlačením vzduchu dochází k jeho zahřívání na teploty přesahující 100 °C. Mezi motor a kompresor je tedy vsazen mezichladič, který teplotu vzduchu sníží, tím dojde také ke snížení hustoty vzduchu a zvýšení obsahu kyslíku, což má za následek opět dokonalejší spalování směsi. [22], [20]

Regulace plnicího tlaku turbodmychadla je opět vyřešena několika způsoby. Jelikož průběh plnicího tlaku není lineární, jako je tomu u kompresoru. Turbo potřebuje pro svoji funkčnost určité množství výfukových plynů, při překročení této hranice dochází prudkému nárůstu tlaku dodávaného vzduchu rychleji, než samotné otáčky motoru, vlivem toho může dojít k poškození agregátu. Nejčastější způsob regulace je proveden obtokovým ventilem, a to buď přetlakovým, který zabrání poškození soustavy při zavření škrticí klapky upuštěním vzduchu do atmosféry, nebo přepouštěcím ventilem, který přebytečný vzduch nasměruje zpět do sání. Další z variant je proměnlivé nastavování lopatek turbíny, nejčastěji za pomoci podtlakového ventilu. Nevýhodou tohoto systému je však komplikovanější řešení samotného turbodmychadla a vyšší nároky na použité materiály. Jelikož proudy plynů dosahují vysokých tlaků a teplot, to bylo důvodem, proč se tento systém začal u zážehových motorů používat teprve nedávno (větší rozsah teplot a otáček oproti vznětovým motorům). [20]

Posledním z vývojových stupňů je použití mechanicky poháněného kompresoru, který dodává plnicí tlak v nižších otáčkách motoru, po překročení určité hranice, kdy je tlak výfukových plynů dostatečný, nastupuje turbodmychadlo. Novinkou je užití tzv. E-chargeru, elektrické přeplňování je totiž nezávislé na otáčkách motoru, či tlaku výfukových spalin, nemusí se zde řešit také vysoký tlak a teplota spalin. Systém se podobá klasickému turbodmychadlu s tím rozdílem, že je radiální kompresor poháněn elektromotorem, který je schopen roztočit dmychadlo na 70 000 ot. $\cdot$ min<sup>-1</sup> za méně než 350 ms. [20]

Přeplňování se kladně podílí na snižování emisí, jelikož vyšší teploty spalování vlivem vyššího plnicího tlaku vedou k dokonalejšímu prohoření spalované směsi a menšímu vzniku oxidu uhelnatého, nespálených uhlovodíků a menší produkci sazí. Vyšší teplota a tlak se však nepříznivě podílejí na vzniku oxidů dusíků.



Obr. 2.3: Schematický obrázek turbodmychadla [21]

### 2.3.2 Konstrukční uzpůsobení motoru

Samotné uspořádání jednotlivých prvků motorů má vliv nejen na jeho výkon, ale také na spousty dalších parametrů, jako jsou emisivita škodlivin, klidný chod spojený s hlučností, spotřeba paliva a řada dalších, přičemž vhodnou konfigurací motoru lze řadu nechtěných projevů omezit, či zcela vyloučit.

- **Tvar spalovacího prostoru**

Vhodná poloha zapalovací svíčky a konstrukce zapalovací komory přímo ovlivňují průběh spalování u zážehových jednotek, je zde proto snaha, aby u spalované směsi došlo k co nejlepšímu promísení paliva se vzduchem a zážeh svíčky umožnil dokonalé prohoření této směsi. Například klínový tvar spalovacího prostoru způsobuje při kompresním pohybu pístu rozvíření a cirkulaci směsi, což vede k vyšší rychlosti spalování. Nižší povrch komory napomáhá ke snížení kompresní teploty vlivem víření a snižuje antidetonační účinky ve spalovacím prostoru. Příliš velké rozvíření směsi má však za následek tepelné ztráty a uspořádání v podobě dvouventilového systému u těchto komor způsobuje také částečný únik nezažehnuté směsi během překrytí ventilů do výfukového systému. [22], [24]

Půlkulový spalovací prostor má dobrou tepelnou účinnost díky malému poměru objemu a povrchu, s tím je spojená a nižší spotřeba paliva a emisivita. Systém tohoto typu disponuje dvěma sacími a dvěma vyfukovacími ventily, pro jeden válec, které jsou umístěny proti sobě ve dvou řadách. Svíčka je umístěna v ose válce. Náchylnost na detonační spalování je zde vyřešena pomocí dvou antidetonačních štěrbin. [22], [25]

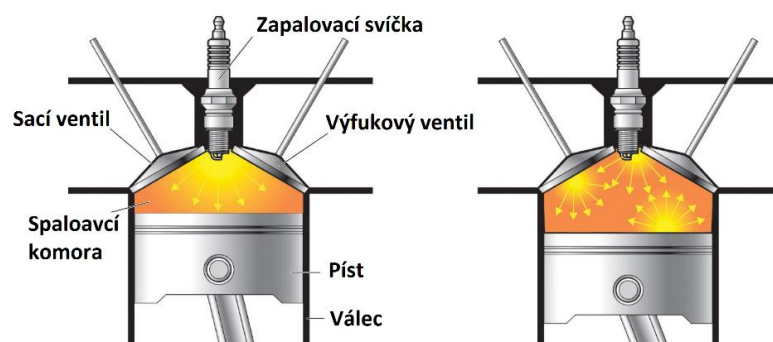
Konstrukční řešení v podobě spalovací komory uvnitř pístu napomáhá k dobré tepelné izolaci i nízkým ztrátám tepla do okolí, hrany pístu tvoří antidetonační bariéru. Toto uspořádání umožňuje libovolné umístění ventilů a rozvíření směsi zde zajišťuje tvarovaný sací kanál. Větší hmotnost pístu má za následek vyšší setrvačnost a je více tepelně namáhán. [22], [25]

Tvar spalovací komory se tedy přímo podílí na výsledné produkci emisí  $\text{CO}$ ,  $\text{NO}_x$  a  $\text{HC}$ , kdy vlivem kvalitního promísení směsi ve válci a následném prohoření lze takto pozitivně ovlivnit emisivitu.

- **Kompresní poměr**

Nastavení správného kompresního poměru vede ke zvýšení účinnosti a snížení emisí. Vyšší kompresní poměr umožňuje rozpínání zplodin ve větším objemu, díky tomu dojde k vyššímu ochlazení výfukových plynů a zmenší se ztráty. Naopak nižší kompresní poměr napomáhá k lepšímu odvodu spalin ze spalovacího prostoru a nižší maximální teploty umožňují redukci  $\text{NO}_x$ . [22], [25]

Nutností je tak nalezení správného poměru, kdy je směs dostatečně okysličená a promísená, spaliny jsou co možná nejrychleji odváděny a vlivem příliš vysoké teploty nedochází k detonačnímu spalování.



Obr. 2.4: Schématické znázornění detonačního pochodu [26]

Mimo zapálení směsi samotnou jiskrou svíčky, může dojít v komoře vlivem právě vysoké teploty k samozážehnutí směsi v několika bodech, na obr. 2.4 vpravo. Toto nekontrolované zahoření způsobuje rázové vlny o vysoké rychlosti až  $500 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . Vlivem tohoto jevu dochází k prudkému nárůstu tlaku, což má za následek mechanické namáhání komory, pístu, mechanismu klikového hřídele a hlavy válců, z dlouhodobějšího hlediska toto může vést až k samotnému poškození motoru. [22]

- **Zápalná směs**

Množství emisí a jejich složení se v převážné míře odvíjí právě od připravené zápalné směsi a jejího směšovacího poměru, který udává množství paliva se vzduchem ve směsi nasávané do spalovací komory motoru.

Ideální spálení benzínu nastává v případě, kdy k jednomu kg paliva spotřebujeme 14,8 kg vzduchu, tímto způsobem je vyjádřen stechiometrický poměr 1:14,8 pro součinitel přebytku vzduchu  $\lambda = 1$ .

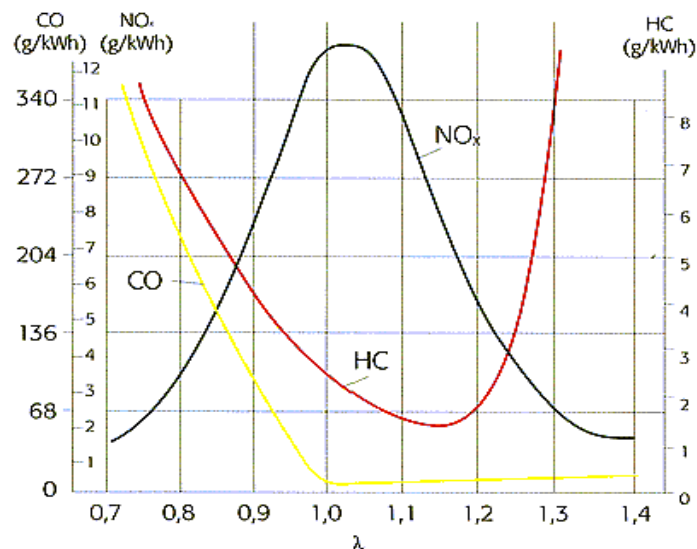
Součinitel přebytku vzduchu  $\lambda$  vyjadřuje, jak moc se daná hodnota odklonila od ideálního stechiometrického poměru, tedy o kolik méně, či více je v dané směsi vzduchu oproti teoreticky potřebnému množství. [1]

Pro zážehové motory se hodnoty součinitele přebytku vzduchu pohybují:

- $\lambda < 1$  – nedostatek vzduchu (bohatá směs)
- $\lambda = 1$  – skutečně přivedená hmotnost vzduchu odpovídá teoretické potřebě
- $\lambda > 1$  – přebytek vzduchu (chudá směs)



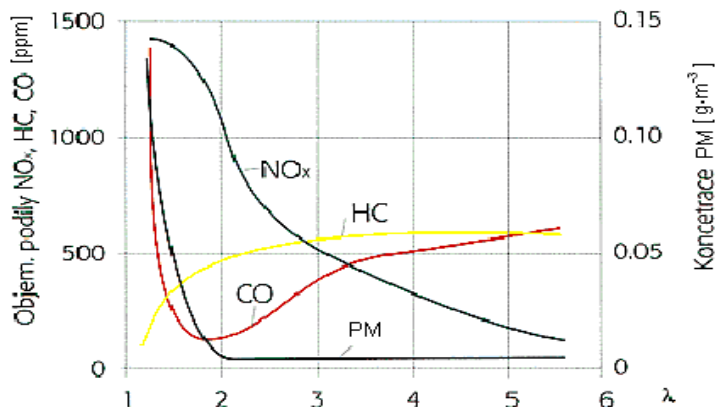
Nejvyššího výkonu je dosaženo při hodnotách  $\lambda = 0,85$  až  $0,95$ . Úspora paliva zase nastává pokud  $\lambda = 1,05$  až  $1,3$  současně nastává i pokles výkonu. Vynechání spalování a neklidný běh motoru nastává při  $\lambda > 1,3$  kdy směs již není schopna zapálení. [1]



Obr. 2.5: Závislost emisí na součiniteli lambda pro zážehový motor [27]

Vhodný směšovací poměr tedy může snížit množství škodlivých látek, které vozidlo vypouští. Příliš bohatá směs vede k nevyhoření veškerého paliva, ve spalínách nezůstane žádný nevyužitý kyslík, který by se dále podílel na reakcích, ale zůstanou zbytky paliva (nespalené uhlovodíky) a oxid uhelnatý, který vzniká při nedokonalém spalování. Chudá směs naopak zapříčiní sloučení nevyužitého kyslíku s dusíkem a vlivem vysokých teplot hoření vznikají oxidy dusíků. [28], [1]

Obdobně je tomu i vznětových motorů, kde stechiometrický poměr činí 14,5 kg vzduchu na jeden 1 kg paliva. Tyto motory jsou však zpravidla řízeny kvalitativně, jinými slovy, jejich výkon se upravuje obsahem paliva ve směsi palivo/vzduch, kdy se toto děje řízením vstřikované dávky paliva, oproti zážehovým motorům spalují také chudší směs. [1]



Obr. 2.6: Závislost emisí na součiniteli lambda pro vznětový motor [27]



Mez kdy u vznětových motorů dochází ke zvýšené kouřivosti a vyšší emisivitě sazí se pohybuje okolo  $\lambda \approx 1,4$ . Zvýšená kouřivost je zde způsobena vlivem mechanismu tvoření zápalné směsi, kdy se tvoří až ve válci. Dochází k nerovnoměrnému promíslení a směs není homogenní, existují v ní místa s nedostatkem vzduchu a naopak nedostatkem paliva. Při chodu naprázdno umí moderní jednotky pracovat s velmi chudou směsí  $\lambda \approx 3,4$ . Pokud dojde k plnému zatížení motoru, je směs obohacena až na mez kouření  $\lambda \approx 1,4$ . Toho jevu lze pozorovat u starších vozidel, které buď sám majitel upravil vyjmutím zařízení pro záchyt pevných částic, nebo došlo stářím k jeho degradaci. [1]

- **Předstih zážehu**

Změnou tohoto parametru dochází k výraznému ovlivnění průběhu chodu motoru. Předstih nastává, pokud dojde k zažehnutí směsi před dosažením horní úvrati pístu, tedy v okamžiku, kdy se píst pohybuje vzhůru a dochází ke stlačování. [27]

Zmenšováním úhlu předstihu se snižuje termická účinnost, dojde k nárůstu spotřeby paliva, současně s tím poklesne maximální teplota spalování a vzroste teplota výfukových plynů. Nižší teplota spalování s sebou nese snížený podíl emisí  $\text{NO}_x$  a HC. Zvýšení zapalovací energie, tedy síly samotné jiskry se projevuje především na potlačení HC. Pokud je energie zapálení nízká, dochází k vynechávání zážehu a nárůstu HC. [27]

- **Vstřikovací systémy vznětových motorů**

Způsob přípravy dané směsi významně ovlivňuje množství a složení škodlivin, přičemž největší vliv na tom má kvalitní rozprášení paliva spolu s předstihem vstřiku. Motory s přímým vstřikováním paliva vykazují vyšší emisivitu  $\text{NO}_x$ , tu lze omezit zmenšením předstihu vstřiku paliva. Nevýhodou je zvýšení spotřeby paliva spolu s vyšší emisivitou CO a kouřivostí, setře se tím výhoda přímovstřikových motorů v podobě nižší spotřeby. Přepřlňované jednotky snižují množství  $\text{NO}_x$  ochlazením vhněného vzduchu v mezichladiči. Zvýšení vstřikovacího tlaku umožňuje lepší rozprášení paliva a tvoří tak homogennější směs, což vede k nižší kouřivosti. [23]

Systému pro vstřikování paliva a přípravu směsi je hned několik druhů, jako jsou samostatné vstřikovací jednotky, dosahující tlaku 180 MPa. Dále sdružené jednotky, kdy je vstřikovací jednotka integrovaná přímo do vstřikovače, odpadá tak použití vysokotlakého potrubí jako je tomu samostatné jednotky a systém dosahuje tlaku 200 MPa. Nejpoužívanějším systémem je Common Rail, který disponuje vysokým vstřikovacím tlakem až 250 MPa, což umožňuje vysoce kvalitní tvorbu směsi. Tlak je v systému udržován neustále pomocí zásobníku (railu), nezávisle na otáčkách motoru. Palivo je ze zásobníku vedeno vysokotlakým potrubím až k elektronicky řízeným vstřikům. [23]

Common Rail disponuje oproti ostatním systémům až 40 % úsporou CO, 60 % úsporou pevných částic a v případě nespálených uhlovodíků HC 50 %, nižší spotřeba paliva, kterou systém přináší, snižuje i produkci  $\text{CO}_2$ . [23]

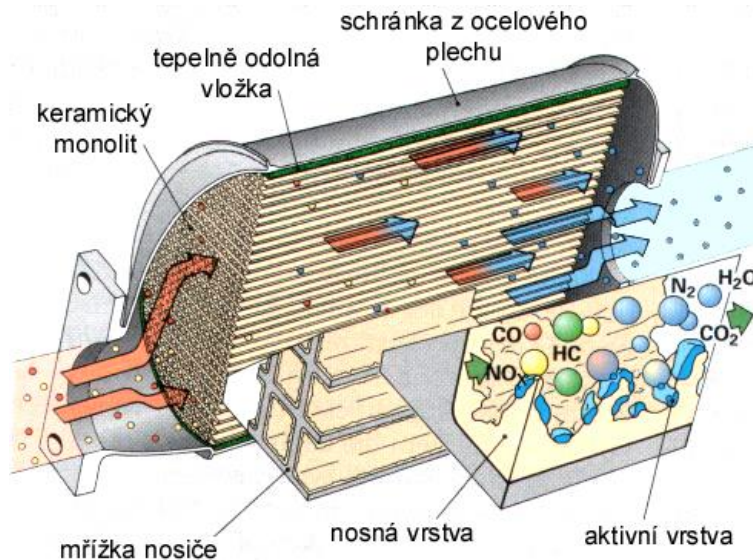
### 2.3.3 Pasivní snižování emisí

Pasivní prvky můžeme chápat jako zařízení, které pracuje s výfukovými zplodinami produkovanými motorem, a upravují jejich složení. Aktivně se tak nepodílejí na tvorbě emisí, jako tomu je u prvků motoru, které tyto emise dokáží svou konstrukcí či chodem měnit a některé potlačit.

- **Katalytický konvertor**

Řešení, které je nejúčinnějším prostředkem pro boj s emisemi, známější spíše pod pojmem katalyzátor. Ačkoliv je toto označení nepřesné, jelikož katalyzátor je pouze látka v tomto zařízení, která se sama na reakci nepodílí, ale dokáže tyto reakce ovlivnit.

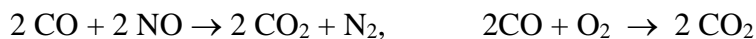
Zážehové motory pro dodatečnou úpravu spalin využívají v převážné většině třícestný katalyzátor, tzv. oxidačně redukční. Třícestný respektive trojčinný katalyzátor, jak bývá označován, dokáže redukovat tři škodliviny zároveň (CO, HC, NO<sub>x</sub>).



Obr. 2.7: Třícestný, oxidačně – redukční katalytický konvertor [27]

Materiál, který slouží jako nosič, bývá zpravidla keramika, ta je potažena ušlechtilými kovy, jako je platina, paladium a rhodium. Škodlivé plyny proudí přes keramickou vložku, kde jsou následně jejich chemické reakce urychleny a škodlivé emise potlačeny. Chemické reakce probíhají následovně. [1], [27], [25]

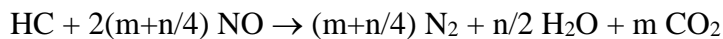
Redukce: oxid dusnatý → dusík,      oxidace: oxid uhelnatý → oxid uhličitý



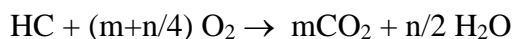
Redukce: oxid dusnatý → dusík,      oxidace: vodík → vodní pára



Redukce: oxid dusnatý → dusík,

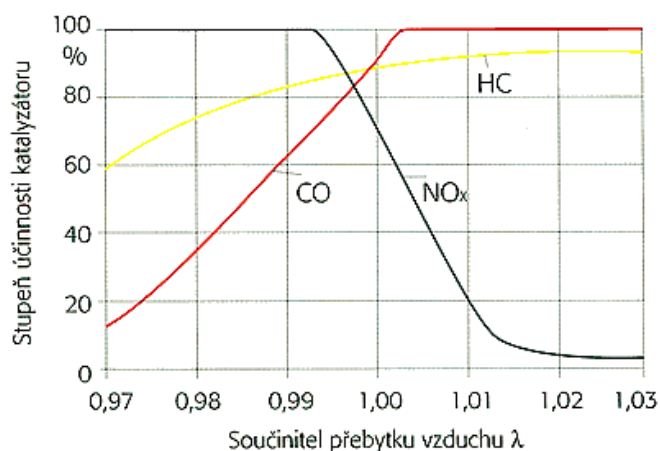


Oxidace: nespálené uhlovodíky → oxid uhličitý a vodní pára



Při redukci je sloučeninám kyslík odebrán, oxidy dusíku jsou přeměňovány (redukovány) na dusík a oxid uhličitý. Oxidací, kdy je sloučeninám kyslík dodáván, oxid uhelnatý oxiduje na oxid uhličitý, zároveň dochází k oxidaci uhlovodíků na vodu a oxid uhličitý. [28]

Správné fungování katalyzátoru zajišťuje také lambda regulace pomocí kyslíkové sondy, která určuje obsah zbytkového kyslíku ve výfukových plynech za motorem a před katalyzátorem.

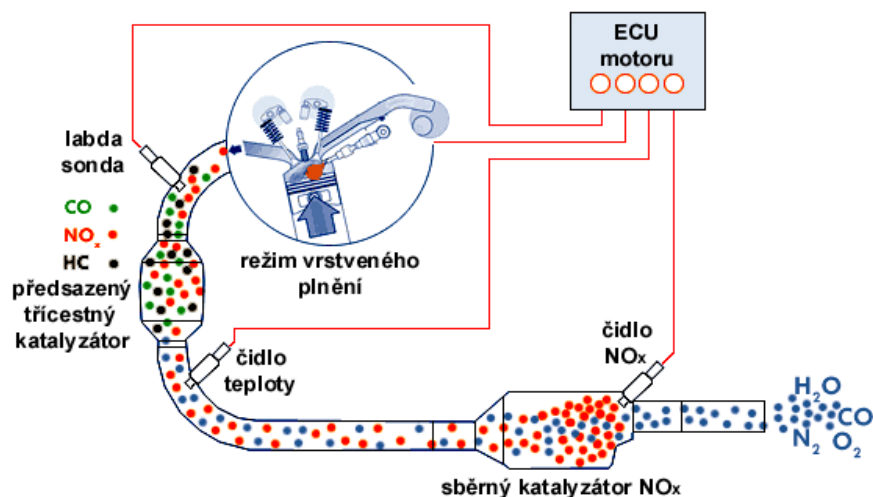


Obr. 2.8: Účinnost katalyzátoru v závislosti na součiniteli přebytku vzduchu [27]

Sonda zajišťuje optimální složení směsi v tzv. „lambda okně“ kdy se hodnota pohybuje v rozmezí  $\lambda = 0,99$  až 1. Řídící jednotka dokáže díky napěťovým úrovním ze sondy (100 mV pro chudou směs, 800 mV pro bohatou směs) upravovat zpravidla délku vstřiku paliva v závislosti na zatížení a otáčkách motoru a tím regulovat složení směsi. Účinná regulace výfukových plynů pomocí lambda sondy může navýšit účinnost katalyzátoru až na 95 % oproti 50 % bez použité regulace. [1]

Jednotky s přímým vstřikem paliva FSI (Fuel Stratified Injection) využívají pro redukci emisí zásobníkový katalyzátor, viz obr. 2.9. Důsledkem spalování vrstvené směsi je směšovací poměr vyšší než jedna, v tomto případě se stává trojcestný katalyzátor málo účinným a nedokáže převádět oxidy dusíku vzniklé spalováním. Zásobníkový katalyzátor obsahuje mimo vrstev z platiny, paladia a rhodia také přísady, které umožňují ukládání oxidů dusíků. [1], [27]

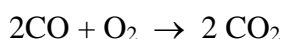
Sběrný katalyzátor při provozu s přebytkem vzduchu ukládá pomocí oxidů baria na povrchu katalyzátoru oxidy dusíku ve formě bariumnitrátů. Nasycení katalyzátoru a ukončenou fází ukládání rozpozná podle koncentrace NO<sub>x</sub> ve výfukových plynech čidlo oxidů dusíků, popřípadě je tato fáze rozpoznána podle teploty výfukových plynů čidlem vsazeným před sběrný katalyzátor. Regenerace sběrného katalyzátoru poté probíhá přepnutím na provoz s bohatou směsí  $\lambda = 0,8$ . Díky tomuto dojde k nárůstu podílů CO ve spalínách a oxidy dusíků vázané v bariumnitrátech reagují. Vzhledem k nízké kapacitě tohoto katalyzátoru se musí regenerační proces zhruba každých 30 až 60 sekund opakovat. [1], [27]



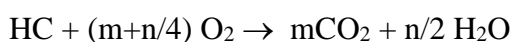
Obr. 2.9: Katalytický systém motoru FSI pro periodickou likvidaci NO<sub>x</sub> [27]

Vznětové motory pro redukci spalín využívají jednoduššího systému v podobě oxidačního dvojčinného katalyzátoru.

Oxidace: oxid uhelnatý → oxid uhličitý



Oxidace: nespálené uhlovodíky → oxid uhličitý a vodní pára

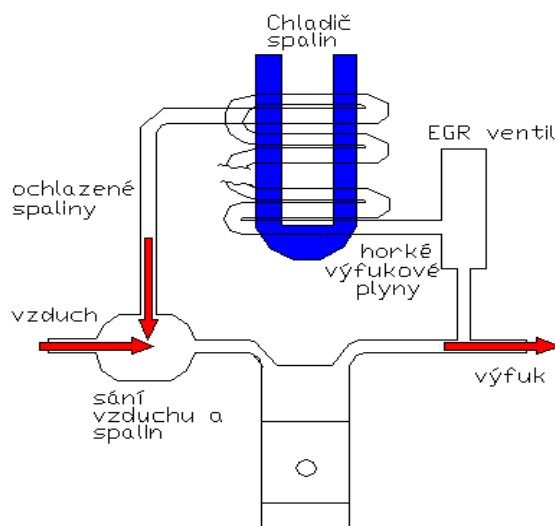


Funkčnost zajišťuje právě přebytek vzduchu (chudší směs) u vznětových motorů, kdy produkty nedokonalého spalování reagují s přebytečným kyslíkem. Oxidy dusíku zde nejsou nijak redukovány a jejich redukce probíhá za pomoci zpětného přísávání výfukových spalín. [27]

- **Recirkulace výfukových spalín**

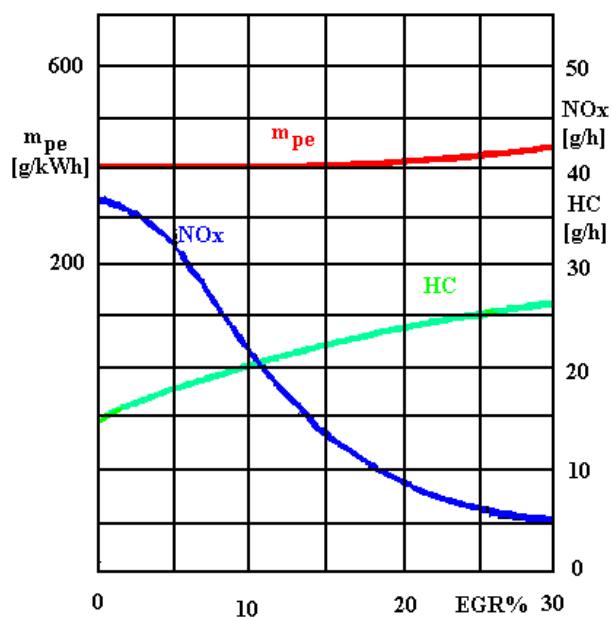
Hojně využívány způsob umožňující výrazné snížení emisí NO<sub>x</sub>. Výfukové plyny, které se vrátí zpět do spalovacího prostoru motoru, mají nízký obsah kyslíku v porovnání s nasávaným vzduchem z okolí, jsou inertní a neúčastní se reakce v takové míře. Neúčastní se spalování, ale jsou schopny odebrat část tepla, které vzniká hořením, tím snižují maximální teplotu, což vede k nižší emisivitě NO<sub>x</sub>. Existují dva druhy tohoto systému, vnitřní recirkulace (převážně zážehové motory), kdy při překrytí sacího a výfukového ventilu v okamžiku výměny náplně dojde ke zpětnému nasátí výfukových plynů zpět do sání. [27]

Druhý způsob, vnější recirkulace, viz obr. 2.10, je uplatňován tam, kde motory nedokáží splnit mezní hodnoty NO<sub>x</sub> žádným jiným způsobem.



Obr. 2.10: Schematické znázornění vnější recirkulace spalin [27]

Výfukové plyny jsou přepouštěny zpět do sání za pomoci EGR ventilu (z angl. Exhaust Gas Recirkulation), ten může být ovládán buď elektronicky, popřípadě podtlakem v sání. Množství spalin, které jsou takto zpětně přisávány je označováno jako EGR %. [27]

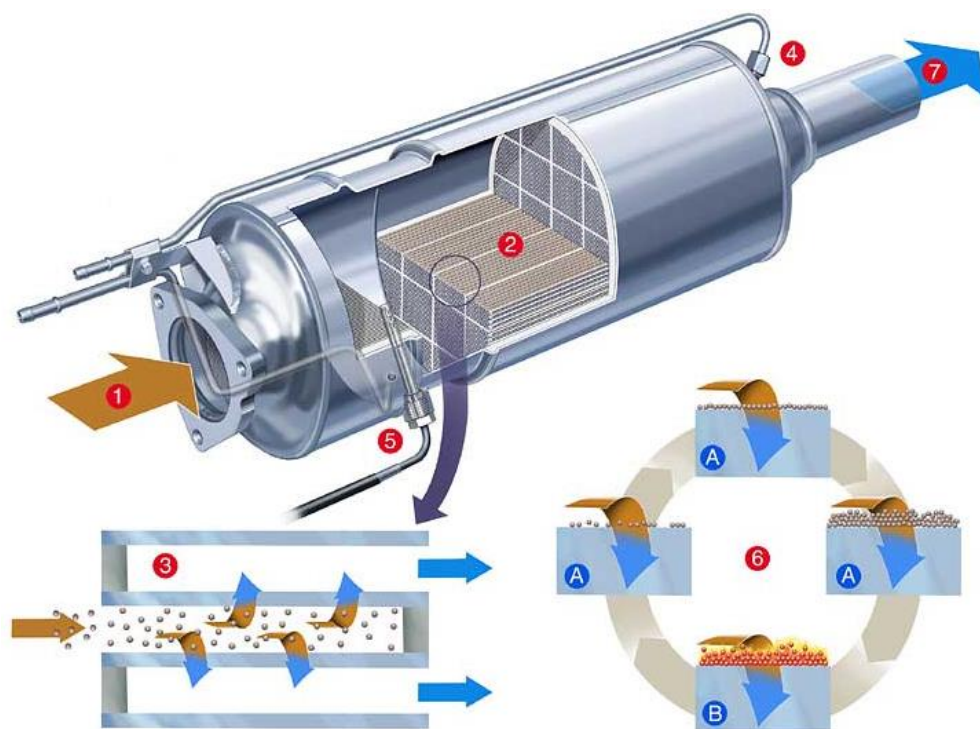


Obr. 2.11: Závislost  $m_{pe}$ , HC, NO<sub>x</sub> vzhledem k podílu recirkulace spalin [27]

EGR system umožňuje snížit emise NO<sub>x</sub> až o 60 %, avšak za cenu rostoucího podílu nespálených uhlovodíků. Nad 15 % recirkulace spalin také dochází ke zvýšené měrné spotřebě paliva  $m_{pe}$ .

- **Filtr pevných částic**

DPF (z angl. Diesel Particulate Filter) či FAP (z fr. Filtre à Particules) jsou označeními pro jedno a totéž zařízení, které velmi účinně bojuje s pevnými částicemi převážně vznětových motorů.



- |                                |                              |
|--------------------------------|------------------------------|
| 1. Předčištěné výfukové plyny  | 2. Příčný řez tělesem filtru |
| 3. Funkce Filtračních elementů | 4. Senzory tlaku             |
| 5. Teplotní čidlo              | 6. Filtrační cyklus          |
| A. Filtrační fáze              | B. Regenerační fáze          |

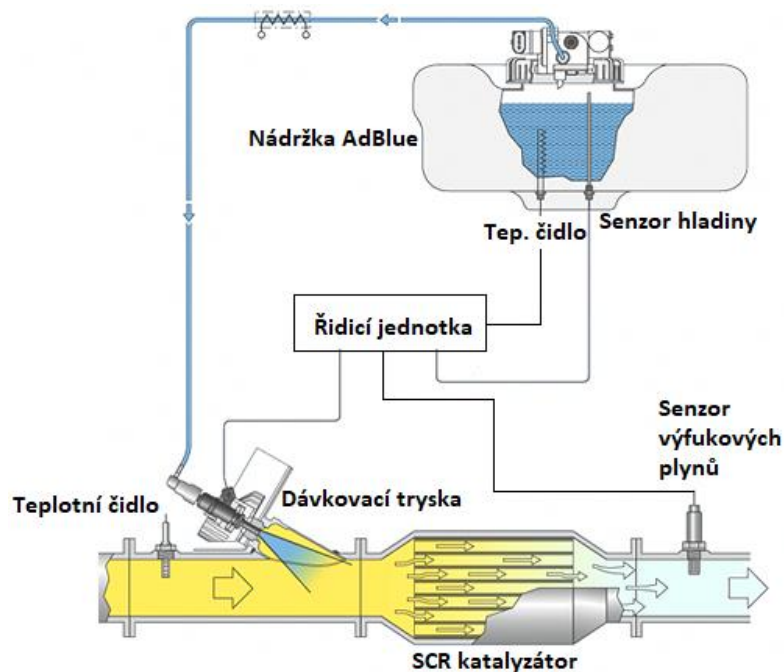
Obr. 2.12: Schématické zobrazení filtru pevných částic [29]

Filtr je tvořen z látky, jenž má porézní strukturu tvořenou oxidem křemičitým, díky čemuž dochází k zachytávání pevných částic. Systém je umístěn za katalytickým konvertorem a dokáže snížit emisivitu pevných složek výfukových plynů až od 95 %. Znečištění filtru a jeho snížená schopnost zachytávání částic je sledována elektronicky, kdy při jeho zanesení dochází k navýšení tlaku ve výfukovém systému. Regenerace filtru je poté zahájena navýšením teploty nad 550 °C, za přítomnosti kyslíku proběhne spálení usazenin a dojde k obnovení funkčnosti filtru. Navýšení teploty výfukových spalin je řešeno obvykle dodatečným vstříknutím paliva po základním vstříku, kdy lze takto teplotu spalin navýšit v průměru až o 250 °C, další nárůst teploty způsobuje hoření nespálených uhlovodíků v oxidačním katalyzátoru, které teplotu navýší o dalších 100 °C. Systém může využívat a dodatečné přidávání aditiva (Eolys), které dokáže snížit teplotu potřebnou k vypálení usazených částic na 450 °C, díky čemuž dojde k menšímu tepelnému namáhání celého systému. Toto aditivum je umístěno v nádržice poblíž palivové nádrže, po ujetí zhruba 100 000 km dojde k vyčerpání aditiva a je nutná návštěva servisu a jeho doplnění. Životnost filtru se pohybuje okolo 200 000 km popřípadě životnost samotného vozidla. Nevýhodou systému je pokles výkonu motoru vlivem snížené průchodnosti výfukových spalin. [1], [27], [24]



- **Selektivní katalytická redukce**

Opatření, které bývá posledním stupněm řazeným za filtr pevných částic a katalyzátor vozidla, umožňuje další snížení emisí  $\text{NO}_x$ . Sloučenina amoniaku s obchodní značkou AdBlue je vodný roztok s 32,5 % koncentrací. Roztok je za pomoci trysky vstříknut ve formě aerosolu do proudu výfukových plynů. Oxidy dusíku obsažené ve výfukových plynech se sloučí s amoniakem, díky čemuž vznikne dusík a voda. Vozidla vybaveny tímto systémem tak splňují limitní normy EURO 4 a 5. Starší typy vozidel jsou aditivovány 3-4 % množství paliva, v případě vyšší normy EURO 5 stačí systém upravit a zvýšit hodnotu dávkování na 5-7 %. Výhoda tohoto systému spočívá ve snižování emisí oxidů dusíků bez nutnosti jakkoliv zasahovat do spalovacího procesu motoru, při reakci v SCR katalyzátoru dochází ke snížení emisí  $\text{NO}_x$  o 70 %, uhlovodíků o 90 % a pevných částic o 10 %. Náplň je třeba v případě autobusu, který má spotřebu nafty 30-40  $\text{l} \cdot 100 \text{ km}^{-1}$  a nádrž na AdBlue o objemu 40 l, doplňovat po ujetí zhruba 2500 až 3000 km. [1], [27], [24]



Obr. 2.13: Schématické zobrazení selektivní katalytické redukce [27]

## 3 METODY EMISNÍHO MĚŘENÍ

Exhalační (emisní) zkoušky jsou ze zákona povinné a prováděné zpravidla ve třech životních obdobích výrobku (vozidla). První měření se provádí při schvalování typu, kdy se jedná o homologační zkoušky. Druhé měření nastává při kontrole shody výroby a udržení jakosti. Poslední měření probíhá při udržování vozidel v provozu. [40]

Nutno je zde podotknout, že v případě emisního měření motorových vozidel se jedná o značně rozsáhlou problematiku, která je blíže specifikována a upravována evropskými předpisy EHK 83 a EHK 49, sloužícími pro přesné definování postupů emisního měření, proto se nyní kapitola o tyto předpisy opírá a vychází z nich.

Normy jsou platné pro vozidla kategorie M1, M2, N1 a N2 s referenční hmotností nepřesahující 2 610 kg, popřípadě vozidla zvláštního určení téže kategorie bez ohledu na jejich referenční hmotnost a dále vozidla přesahující hmotnost 2 610 kg a všechny motorová vozidla kategorie M3 a N3. [32], [33]

Všechny vozidla provozovaná na území české republiky podléhají povinnosti pravidelného emisního měření dle zákona č. 56/2001 Sb., rozsah kontroly a její praktické provedení se pak upravuje vyhláškou MDS č 302/2001 Sb. o technických prohlídkách a měření emisí vozidel. Zážehové motory podléhají kontrole především z hlediska emisí oxidu uhelnatého, kdy se toto měření provádí při volnoběžném provozu a dále při zvýšených volnoběžných otáčkách. Vozidla, která nedisponují katalyzátory, popřípadě systémem řízených katalyzátorů musejí splňovat také měření HC za stejných podmínek, tedy volnoběžný provoz a zvýšené volnoběžné otáčky. Vznětové motory jsou posuzovány z pohledu kouřivosti měřené při opakovaných akceleracích. [31]

### 3.1 Měření dle předpisu EHK 83

Předpis se zabývá vyhodnocováním emisí u vozidel s jedním druhem paliva, popřípadě umožňující kombinaci více paliv a dále zahrnuje vozy hybridní s kombinovaným provozem. Do zkušebních paliv spadají motorový benzin, nafta, LPG, NG/biometan, E85, biopaliva a vodík. Vozidla se spalovacím zážehovým motorem podléhají dle tohoto předpisu zkouškám typu I až VI, včetně zkoušky OBD. Vznětové motory pak zkouškám typu I a V, včetně zkoušky OBD. Předpis dále určuje postup měření na válcovém dynamometru a jeho přesný postup kalibrace. Dále vymezuje požadavky na měřicí techniku spolu s měřicími postupy. [34]

#### 3.1.1 Zkouška typu I

Ověřuje průměrné emise výfukových plynů po studeném startu motoru. Simulují se zde jízdní vlastnosti dle NEDC, viz kap. 2.1. Systém testování NEDC.

Zředěný proporcionalní vzorek emisí se v průběhu měření shromažďuje do vaku, poté je vzorek podroben další analýze CVS. Vznětové motory musí v této fázi zkoušky podstoupit také měření CO, HC, NO<sub>x</sub>, HC a PM. Směrnice stanovuje provedení celkem tří měření, přičemž výsledek zkoušky se poté násobí faktorem zhoršení.[34]

Předpis EHK 83 stanovuje mezní hodnoty, jež musí vozidlo splnit, viz tabulka 3.1.



Tabulka 3.1: Limitní hodnoty pro zkoušku typu I [34]

Kategorie	Referenční hmotnost RM [kg]	CO [mg·km <sup>-1</sup> ]		THC [mg·km <sup>-1</sup> ]		NMHC [mg·km <sup>-1</sup> ]		NO <sub>x</sub> [mg·km <sup>-1</sup> ]		THC+NO <sub>x</sub> [mg·km <sup>-1</sup> ]		PM [mg·km <sup>-1</sup> ]	
		PI	CI	PI	CI	PI	CI	PI	CI	PI	CI	PI <sup>(1)</sup>	CI
<b>M</b>	Všechny	1000	500	100	-	68	-	60	180	-	230	4,5	4,5
<b>N1-I</b>	RM ≤ 1 305	1000	500	100	-	68	-	60	180	-	230	4,5	4,5
<b>N1-II</b>	1305 < RM ≤ 1 305	1810	630	130	-	90	-	75	235	-	295	4,5	4,5
<b>N1-III</b>	1 760 < RM	2270	740	160	-	108	-	82	280	-	350	4,5	4,5
<b>N2</b>	Všechny	2270	740	160	-	108	-	82	280	-	350	4,5	4,5

PI – zážehový motor; CI – vznětový motor  
 THC – celková hmotnost uhlovodíků  
 NMHC – hmotnost nemethanových uhlovodíků  
 THC + NO<sub>x</sub> – součet hmotností uhlovodíků a oxidů dusíku  
<sup>(1)</sup> – pouze u vozidel s motorem s přímým vstřikováním  
 M – motorová vozidla, která mají nejméně čtyři kola a používají se pro dopravu osob  
 N1 – vozidla, jejichž nejvyšší přípustná hmotnost nepřevyšuje 3500 kg  
 N2 – vozidla, jejichž nejvyšší přípustná hmotnost převyšuje 3500 kg, ale nepřevyšuje 12 000 kg

### 3.1.2 Zkouška typu II

Testuje emisivitu oxidu uhelnatého při volnoběhu a zároveň kontroluje hodnotu lambda. Zážehové motory, které jsou uzpůsobeny pro pohon dvěma palivy, musí tuto zkoušku podstoupit pro oba dva druhy paliv. Limit oxidu uhelnatého zde nesmí překročit hodnotu, kterou udává výrobce vozu, dále by tento limit neměl překročit 0,3 % objemu. Hodnota CO, však nesmí překročit 0,2 % objemu při vysokých volnoběžných otáčkách, a to minimálně 2000 ot·min<sup>-1</sup> a lambda 1±0,03. [34], [40]

### 3.1.3 Zkouška typu III

Má za úkol prověřit emisivitu plynu z odvětrávání klikové skříně motoru, přičemž se provádí u všech vozidel vyjímaje se vznětovým motorem. Pokud vozidlo podporuje pohon na dvoupalivový systém s LPG nebo NG, tak se při zkoušce tohoto typu prověřuje pouze s chodem na benzin. Výjimku tvoří vozidla s nádrží nepřevyšující objem 15 litrů, kde je benzin použit pro účely startování a nouzového chodu, ta se pro tuto zkoušku považují za vozidla pracující jen s plyným pohonem. Současné druhy vozidel nesmí umožnit žádný únik plynů z odvětrávání klikové skříně. [34]

### 3.1.4 Zkouška typu IV

Popisuje stanovení emisí uhlovodíků vlivem vypařování u všech vozidel, mimo těch, se vznětovým motorem a pohonem na plyná paliva. Pokud vozidla s plyným pohonem toto umožňují, budou zkoušeny s pohonem na benzin. Zkoušené vozidlo je umístěno do plynotěsné komory, která musí umožňovat plynulou regulaci teploty vzduchu uvnitř komory a to bez odskoků, současně nesmí mít žádná ze stěn komory v průběhu testu teplotu menší než 5 °C a větší než 55 °C. Nádrž vozidla je naplněna referenčním palivem o teplotě 10 °C až 14 °C a to do kapacity nádrže 40 % ± 2 %.

Výpar se hodnotí po dobu 24h, kdy je palivo v nádrži ohřáto okolím komory na teplotu až 35°C, kdy během tohoto testu musí mít vozidlo otevřeno dveře a kufr. Naměřené hodnoty nesmí přesahovat hmotnost uhlovodíků 2g. [34]

### 3.1.5 Zkouška typu V

Zkoumá životnost zařízení vozu, která snižují emise. Platí pro vozidla, která podléhají zkoušce prvního typu. Nájezd zde musí dosahovat 160 000 km, a to buď jízdou na zkušební dráze, silnici, či dynamometru. Vozidlo se zážehovým motorem je podrobeno 60 s jízdnímu cyklu SBC, pokud je to nutné, může se tento cyklus opakovat tak dlouho, dokud se nedosáhne požadovaného stárnutí katalyzátoru a kyslíkové sondy. Vznětové motory jsou podrobeny cyklu SDBC, který vyvolává regenerace DPF filtru, opět je toto blíže určeno již zmiňovanou vyhláškou. [34]

### 3.1.6 Zkouška typu VI

Provádí test průměrných emisí oxidu uhelnatého a uhlovodíků tvořených motorem při studeném startu a za nízkých okolních teplot. Zkouška je zaměřena na vozidla se zážehovým motorem kategorie M1 a N1. Výjimku tvoří vozidla poháněná plynným palivem. Dvoupalivová vozidla, u nichž není benzín použit pro startování a stav nouze, jsou opět podrobena testu s pohonem na benzin. [34]

Jízdní stavy vozu jsou zde simulovány pomocí dynamometru, který umožňuje měnit zátěž a setrvačné síly působící na vůz. Tato zkouška je složena ze čtyř základních městských jízdních cyklů dle NEDC. Bez přerušení je provedeno ověření stavu emisí za nízkých teplot, které začíná startem motoru, celková délka testu trvá 780 s. Teplota okolí je nastavena na -7 °C, důležité je zde přitom to, aby teplota vozu byla stabilizovaná právě na tuto hodnotu a výsledky testu byly popřípadě opakovatelné. [34]

Během zkoušky se odebrané plyny ředí a odebere se proporcionální vzorek, který je podroben dalšímu vyhodnocování, též je pro tyto účely nutné znát i celkový objem zředěných plynů. Zkouška je provedena celkem třikrát a výsledné hodnoty nesmějí překračovat stanovené limity. [34]

Tabulka 3.2: Limitní hodnoty pro zkoušku typu VI [34]

Kategorie	Třída	Hmotnost CO L <sub>1</sub> [g·km <sup>-1</sup> ]	Hmotnost HC L <sub>2</sub> [g·km <sup>-1</sup> ]
<b>M1<sup>(1)</sup></b>	-	15	1,8
<b>N1</b>	I	15	1,8
<b>N1<sup>(2)</sup></b>	II	24	2,7
	III	30	3,2
(1) – kromě vozidel určených k přepravě více než šesti osob a vozidel, jejichž maximální hmotnost přesahuje 2 500 kg			
(1) – a vozidla kategorie M1 uvedená v poznámce (1)			

### 3.1.7 OBD zkouška

Slouží ke kontrole a ověření funkčnosti palubní diagnostiky (OBD z angl. On-Board Diagnostics) vozidla, která má za úkol monitorovat veškeré systémy vozu, související s emisemi. OBD vozidla je schopna rozpoznat pravděpodobnou příčinu závady, tu poté uloží do paměti v podobě chybových kódů. [34]

Pokud dojde k překročení emisních limitů dle tabulky 3.3, palubní diagnostika musí buď akustickým, či světelným signálem zřetelně informovat řidiče vozidla o chybné činnosti emisního systému, popřípadě samotné nefunkčnosti OBD. [34]

Diagnostika vozu musí dohlížet minimálně na funkčnost katalyzátoru, DPF, vstřikovacího systému, selhání zapalování motoru, funkčnost kyslíkových čidel a jiných funkcí vozidla, které se mohou podílet na produkci emisí. [34]

Vymazání paměti OBD se může provést tehdy, pokud během 40 cyklů ohřátí motoru nedojde k opětovnému výskytu závady, současně s pominutím závady může dojít k ukončení signalizace závady. [34]

Tabulka 3.3: Limitní hodnoty pro zkoušku OBD [34]

Kategorie	Referenční hmotnost RM [kg]	CO [mg·km <sup>-1</sup> ]		NMHC [mg·km <sup>-1</sup> ]		NO <sub>x</sub> [mg·km <sup>-1</sup> ]		PM [mg·km <sup>-1</sup> ]	
		PI	CI	PI	CI	PI	CI	PI <sup>(1)</sup>	CI <sup>(2)</sup>
<b>M</b>	Všechny	1900	1900	250	320	300	540	50	50
<b>N1-I<sup>(3)</sup></b>	RM ≤ 1 305	1900	1900	250	320	300	540	50	50
<b>N1-II<sup>(3)</sup></b>	1305 < RM ≤ 1 305	3400	2400	330	360	375	705	50	50
<b>N1-III<sup>(3)</sup></b>	1 760 < RM	4300	2800	400	400	410	840	50	50
<b>N2</b>	Všechny	4300	2800	400	400	410	840	50	50

PI – zážehový motor; CI – vznětový motor  
 NMHC – hmotnost nemethanových uhlovodíků  
<sup>(1)</sup> – mezní hodnoty hmotnosti částic u zážehových motorů se vztahují pouze na vozidla s motorem s přímým vstřikováním  
<sup>(2)</sup> – mezní hodnota 80 mg/km u hmotnosti částic platí pro vozidla kategorií M a N s referenční hmotností větší než 1 760 kg do 1. září 2011 pro schvalování typu nových vozidel  
<sup>(3)</sup> – zahrnuje vozidla kategorie M1, která splňují definici vozidla se „zvláštní sociální funkcí“ (sanita)

## 3.2 Měření dle předpisu EHK 49

Oproti předešlému předpisu EHK 83 se zabývá předpis EHK 49 zkouškou motoru jako samostatného celku, tedy mimo vozidlo, za použití dynamometru. Ověřování mezních hodnot je prováděno zkušebními cykly WHTC a WHSC

Tabulka 3.4: Limitní hodnoty zkušebních cyklů WHSC a WHTC [35]

	CO [mg·kWh <sup>-1</sup> ]	THC [mg·kWh <sup>-1</sup> ]	NMHC [mg·kWh <sup>-1</sup> ]	CH <sub>4</sub> [mg·kWh <sup>-1</sup> ]	NO <sub>x</sub> [mg·kWh <sup>-1</sup> ]	NH <sub>3</sub> [ppm]	PM [mg·kWh <sup>-1</sup> ]
WHSC (CI)	1500	130	-	-	400	10	10
WHTC (CI)	4000	160	-	-	460	10	10
WHTC (PI)	4000	-	160	500	460	10	10

PI – zážehový motor; CI – vznětový motor  
THC – celková hmotnost uhlovodíků  
NMHC – hmotnost nemethanových uhlovodíků  
CH<sub>4</sub> – obsah metanu  
NH<sub>3</sub> – obsah amoniaku

### 3.2.1 Zkušební cyklus systému WHTC

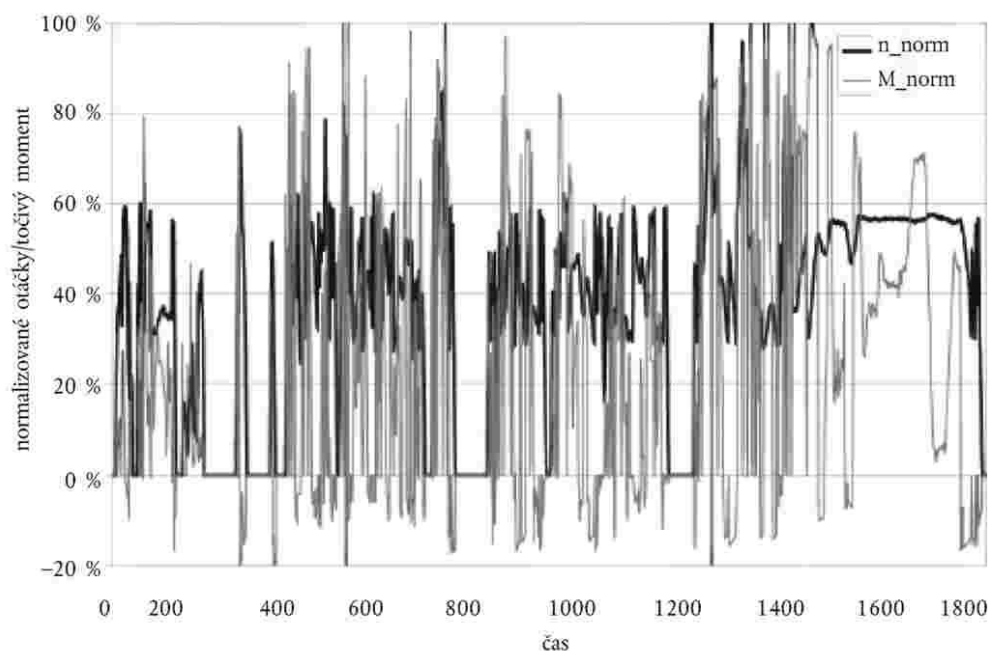
Jedná se o tzv. cyklus v neustáleném stavu, tedy se sledem normalizovaných hodnot otáček a točivého momentu, které se v čase rychle mění. [35]

Před samotným zahájením zkoušky motoru, musejí být normalizované hodnoty otáček a točivého momentu převedeny podle mapovací křivky na skutečné hodnoty pro potřeby konkrétního měřeného motoru. Převod se označuje jako denormalizace, na základě čehož je vytvořen zkušební cyklus pro daný motor. [35]

Dle referenčních hodnot otáček a točivého momentu je poté proveden na zkušebním stanovišti test motoru, kdy se zaznamenávají skutečné hodnoty otáček, točivého momentu a výkonu. Následující ověření hodnot probíhá pomocí regresivní analýzy mezi skutečnými hodnotami a těmi referenčními. [35]

Emise jsou následně určeny propočtem, přičemž je porovnávána skutečně vykonaná práce motoru odvozená ze skutečného výkonu během zkušebního cyklu. Reálně vykonaná práce musí být porovnaná a též musí korespondovat s prací referenčního cyklu. [35]

Časový průběh zkušebního cyklu WHTC je znázorněn na obrázku 3.1



Obr. 3.1: Časový průběh zkušební cyklu WHTC [35]

### 3.2.2 Zkušební cyklus systému WHSC

Cyklus se provádí v ustáleném stavu s lineárními přechody a je složen z více normalizovaných režimu otáček a zatížení, které jsou opět převedeny na skutečné hodnoty pro zkoušený motor na základě mapovací křivky. [35]

Předpis poté určuje dobu, po kterou motor musí v každém režimu pracovat, přičemž se otáčky a zatížení motoru v prvních  $20 \pm 1$  sekundách lineárně mění. Pro ověření zkoušky je provedena po jejím dokončení regresivní analýzy mezi skutečnými a referenčními hodnotami otáček, točivého momentu a výkonu. [35]

Koncentrace plynných znečišťujících látek, průtok výfukových plynů a výkon motoru jsou určovány v průběhu celého zkušební cyklu. Znečišťující plynné látky mohou být zaznamenávány nepřetržitě nebo odebráním do odběrného vaku. Následně se provede analýza vzorku, který je zředěn stabilizovaným plynem. Analýza pevných emisních složek probíhá zachytem částic, kdy je odebrán jeden vzorek jedním vhodným filtrem. [35]

Specifické emise se určí pomocí skutečně vykonané práce ve zkušebním cyklu integrováním skutečného výkonu motoru během tohoto cyklu. [35]

### 3.2.3 Plynulý odběr a odběr vzorku dávkami

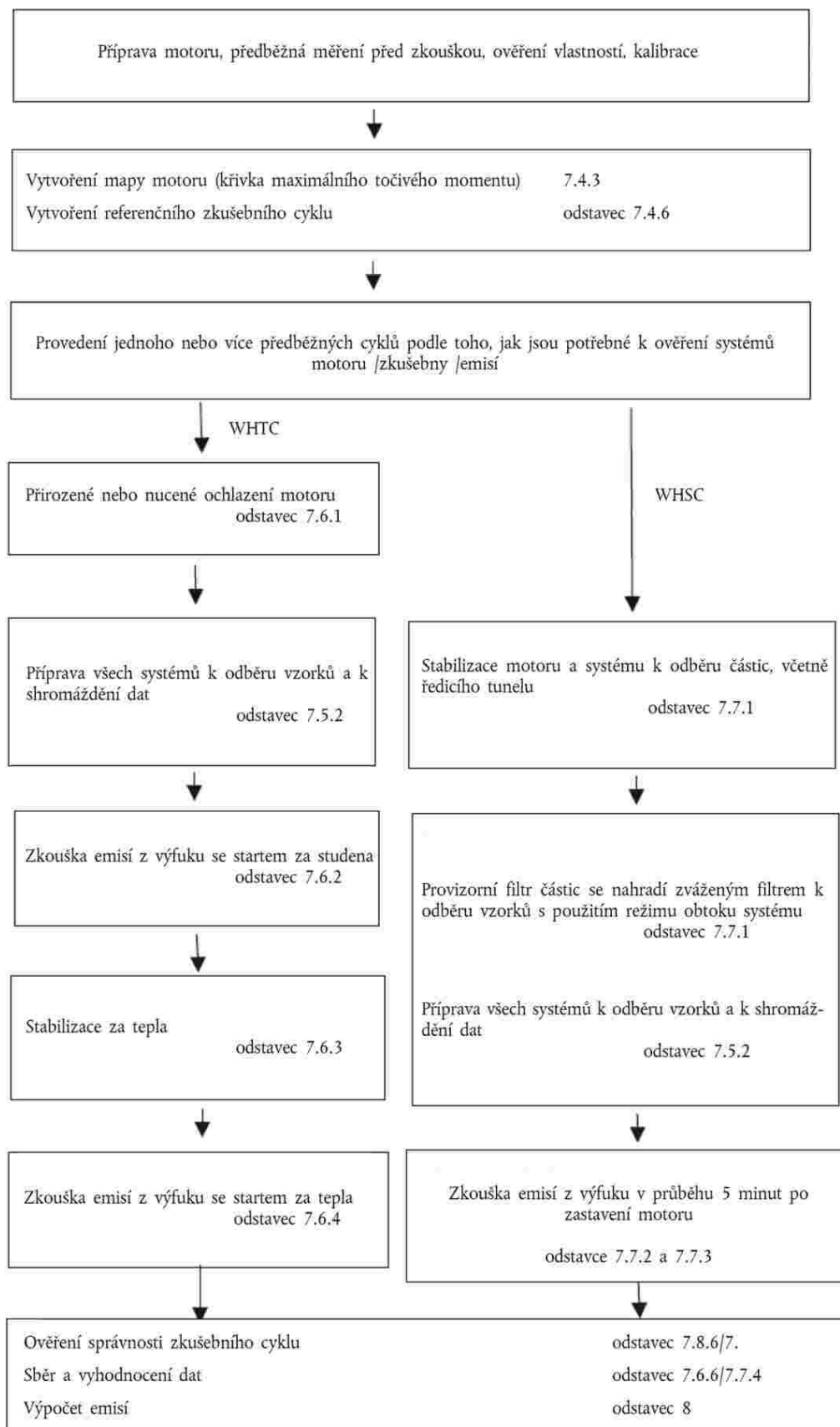
Předpis EHK 49 ukotvuje dva druhy odběrů vzorku. „U plynulého odběru vzorků se nepřetržitě měří koncentrace složky v surovém nebo ve zředěném výfukovém plynu. Tato koncentrace se vynásobí nepřetržitým průtokem výfukového plynu (surového nebo zředěného) v místě odběru emisí k určení hmotnostního průtoku složky. Emise složky se v průběhu zkušební cyklu neustále sčítají. Tento součet je celkovou hmotností vypouštěné složky.“ [35]

Druhým ze způsobů je odebírání dávkami. „U odběru dávek se plynule odebírá vzorek surového nebo zředěného výfukového plynu a ukládá se pro pozdější měření. Odebraný vzorek musí být proporcionální k průtoku surového nebo zředěného výfukového plynu. U jednotlivých odebraných dávek jsou plynné zředěné složky shromážděny ve vaku a částice jsou zachyceny na filtru. Koncentrace složek v odebraných dávkách se vynásobí celkovou hmotností výfukového plynu nebo hmotnostního průtoku (surového nebo zředěného plynu), z nichž byla dávka během zkušebního cyklu odebrána. Výsledkem je celková hmotnost nebo hmotnostní průtok vypouštěné složky. K výpočtu koncentrace znečišťujících částic se částice zachycené z proporcionálně odebraného výfukového plynu na filtru vydělí množstvím přefiltrovaného výfukového plynu.“ [35]

Předpis dále stanovuje dva funkčně rovnocenné postupy měření, které je možné použít pro zkoušené cykly WHTC, WHSC a zároveň je možné jejich kombinování.

- „vzorky plynných složek se odebírají plynule ze surového výfukového plynu a částice se určí s použitím systému s ředěním části toku“ [35]
- „plynné složky a částice se určí s použitím systému s ředěním plného toku (systém CVS)“ [35]

Vývojový diagram na obrázku 3.2 uvádí obecné pokyny, které by měly být během zkoušek dodržovány, přičemž detailní podrobnosti ke každému z nich uvádí příslušné odstavce v předpisu EHK 49. [35]



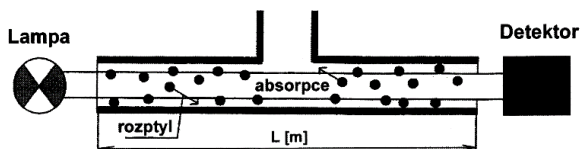
Obr. 3.2: Vývojový diagram sledu zkoušek dle EHK 49 [35]

## 4 ANALYTICKÉ METODY VÝFUKOVÝCH PLYNŮ

Emise vozidel a jejich složení záleží na mnoha faktorech, od samotného paliva, pohonné jednotky, přidružených zařízení omezujících emise, až po samotný mechanismus vzniku emisí. Všechny tyto faktory znesnadňují určování emisí pomocí teoretických početních metod, kdy v současné době existuje pouze malá základna a početní vztahy vcházejí především z poznatků v oblasti měření emisí a metody jsou empirické a spíše přibližné. Následující kapitola se proto bude zabývat především metodami, které se opírají a vycházejí z principů emisního měření.

### 4.1 Opacimetrie

Metoda, při níž je zjišťována a měřena kouřivost především vznětových motorů. Princip je založen na absorpci světla a znalosti přesně definované délky skleněné trubice. Jedna strana je opatřena zdrojem světla, ta druhá detektorem, který přijímá světelné záření. Naplněním trubice zkoumaným plynem dojde k pohlcení a snížení intenzity záření vysílaného světelného paprsku směrem k detektoru. [40]



Obr. 4.1: Schematické znázornění opacimetru [40]

Skleněná trubice je opatřena matným nástřikem, který brání odrazu světla, kdy by vlivem toho docházelo ke zkreslenému měření. Světelným zdrojem může být buď žárovka s teplotou v rozpětí 2800 K až 3250 K nebo LED dioda se spektrem 550 nm do 570 nm. Fotoelektrický článek s citlivostí v pásmu 550 nm až 570 nm slouží jako detektor. [40]

Koeficient absorpce  $k$ , je vypočítán dle následujícího vztahu:

$$\varphi = \varphi_0 \cdot e^{-kL}, \quad (4.1)$$

kde  $k$  - koeficient absorpce [ $\text{l} \cdot \text{m}^{-1}$ ],  
 $L$  - efektivní délka dráhy světla [m],  
 $\varphi$  - tok světla po průchodu plynem,  
 $\varphi_0$  - tok světla po průchodu čistým prostředím.

Koeficient absorpce není lineárně závislý na opacitě (schopnosti látek pohlcovat záření, jinými slovy, jejich neprůhlednosti) a určuje jej vztah:

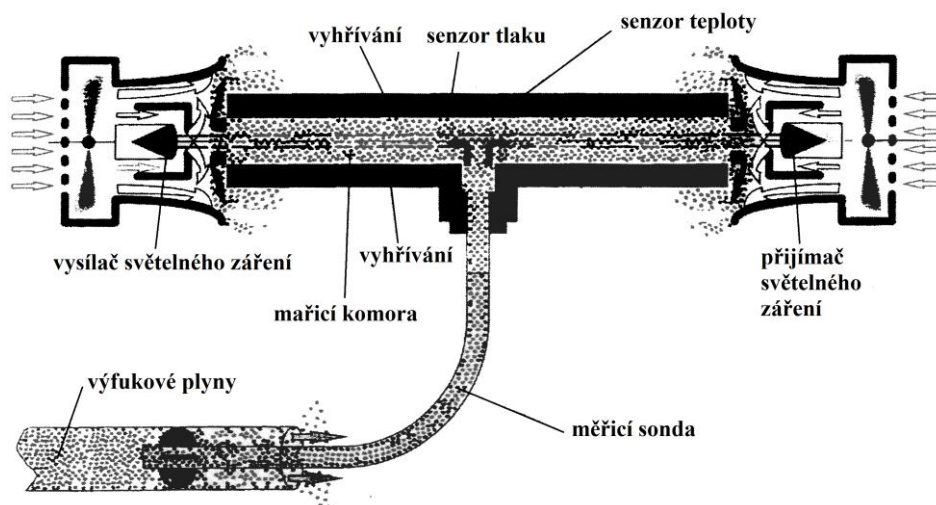
$$k = -\frac{e}{L} \cdot \log\left(1 - \frac{N}{100}\right), \quad (4.2)$$

kde  $N$  - opacita [%].

Absorpční koeficient je též ovlivněn teplotou a tlakem, je proto nutné, aby byly opacimetrie opatřeny vyhříváním a zařízením, které udržuje konstantní tlak v systému.



Celkový systém pro měření kouřivosti je zobrazen na obrázku 4.2. Před zahájením samotného měření musí dojít k vyčištění přístroje a jeho kalibraci.



Obr. 4.2: Schematické znázornění měření kouřivosti pomocí opacitometru [40]

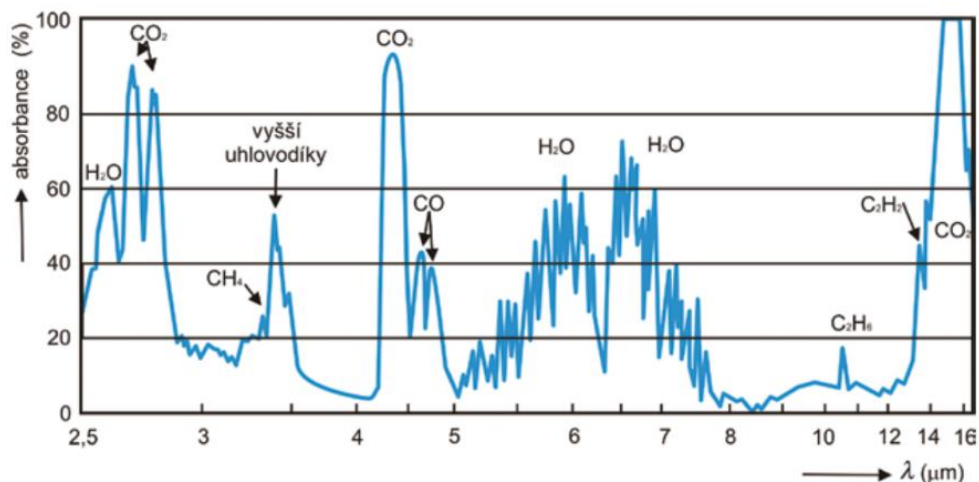
## 4.2 Analyzátory plynů

Směs plynů exhalovaných vozidly nelze měřit jediným analyzátozem, který by byl schopen odhalit zkoumané složky. Proto je zpravidla použito více přístrojů, sdružených do kompaktního celku, jenž je využíván pro komplexní měření a analýzu emisí.

Níže budou popsány základní druhy těchto analyzátorů včetně procesů, na základě kterých pracují.

### 4.2.1 NDIR metoda

Non-Dispersive InfraRed je metoda fungující na principu pohlcování infračerveného záření, které absorbují měřené plyny.

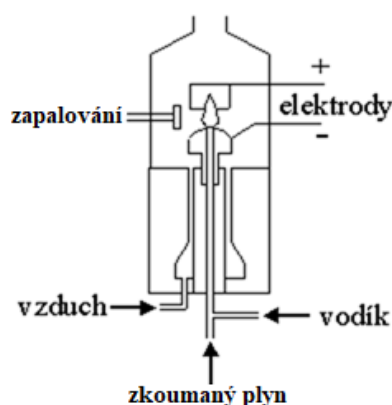


Obr. 4.3: Absorpční spektrum různých plynů blízké infračervené oblasti [38]

Širokopásmový IR vysílač pokryje vlnové délky v rozsahu 2 až 15  $\mu\text{m}$  relevantní pro danou skupinu měřených plynů, nejčastěji CO a CO<sub>2</sub>. Optickými pásmovými filtry je světlo rozloženo na určité vlnové délky, které jsou pohlceny konkrétními plyny. Výstupní IR detektor je podle absorbovaného světla schopen rozlišit zastoupení a množství jednotlivých složek vstupního objemu plynů. [38]

#### 4.2.2 Plamenoionizační detektor (FID)

Metoda pro analýzu emisí výfukových plynů využívá principu ionizace, ke které dochází při spalování organických látek v miniaturním vodíkovém plamenu a je nejvhodnější pro určování HC.

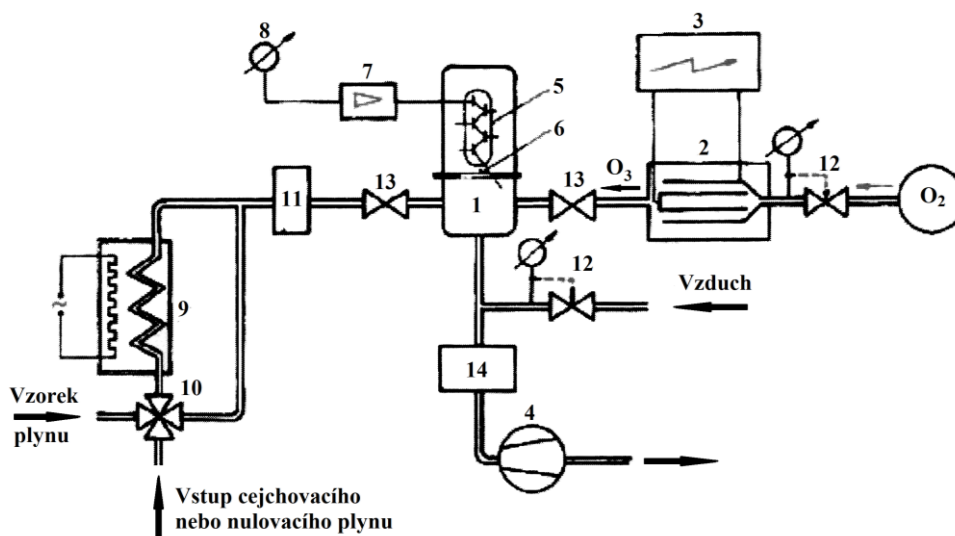


Obr. 4.4: Schematické zobrazení detektoru FID [37]

Spalováním čistého vodíku v komoře dochází k minimální zanedbatelné emisi iontů. Spalováním uhlovodíků ve zkoumaném plynu dojde v plamenu k rozštěpení atomů uhlíku na kladné ionty a volné elektrony. Připojené elektrody vytvářejí v plamenu elektrostatické pole. Kladnou elektrodou jsou přitahovány volné záporné elektrony. Záporná elektroda přitahuje kladné ionty uhlíku. Měřenou veličinou je zde proud, který je úměrný koncentraci uhlovodíku v plamenu. [37], [40]

FID detektory vyjadřují celkovou koncentraci HC. Využitím vhodných absorpčních kolon, které se umístí před FID detektor, je možné určit postupně koncentraci uhlovodíkových skupin nebo jednotlivé uhlovodíkové sloučeniny zastoupené ve výfukových plynech. [40]

### 4.2.3 Chemiluminiscenční analýza (CLA)



Obr. 4.5: Schematické znázornění chemiluminiscenční analýzy [40]

- 1 - komora reaktoru, 2 - generátor ozonu, 3 - zdroj vysokého napětí, 4 - vývěva,  
5 - fotoelektronický násobič, 6 - optický filtr, 7 - tranzistorový zesilovač, 8 - voltmetr,  
9 - termický konvertor NO, 10 - čtyřcestný ventil, 11 - jemný filtr, 12 - redukční voltmetr,  
13 - regulační ventil, 14 - lapač ozonu

Analýza, pomocí níž jsou zjišťovány emise oxidů dusíků  $\text{NO}_x$ . Využívá se přitom měření luminiscence, které vzniká při oxidaci  $\text{NO}$  na  $\text{NO}_2$  uvnitř analyzátoru. Molekuly oxidu dusičitého jsou ve vybuzeném stavu, vnější elektrony tvořících se atomů se pohybují ve vyšších hladinách s větší energií, při přeskočení elektronu na původní stacionární dráhu dojde ke světelné emisi o přesné vlnové délce. Množství molekul  $\text{NO}$ , které vstupují do reakce, odpovídá intenzitě světla. [40]

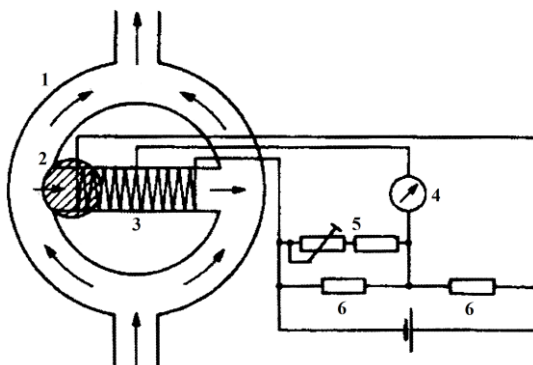
Slabá reakce dusíku s kyslíkem je umocňována reaktivnějším ozonem  $O_3$ , který je do směsi plynů přidáván. [40]

Vzorek plynů je přiveden do komory reaktoru (1), kde reaguje s ozonem, vytvářejícím se v generátoru (2) z kyslíku pomocí vysokého napětí, vytvářeného ve zdroji (3). Vakuová vývěva (4) a redukční ventily (12) udržují v systému vakuum. Potřebná reakce je docílena díky přebytku ozonu, nespotřebovaný zbytek je zachycován v lapači (14). [40]

Voltmetrem (8) je měřeno napětí na zesilovači (7), který zesílí výstupní signál fotoelektronického násobiče (5), ten snímá světélkování, tvořící se v reaktoru, které prochází přes optický filtr (6). [40]

Množství NO ve výfukových plynech přímo ovlivňuje luminiscenci vznikající v reaktoru, kterou je analyzátor schopen detekovat, jiné oxidy dusíků NO<sub>x</sub> neodhalí. Zkoumané plyny jsou proto před vstupem upravovány v termickém konvertoru (9), kde při teplotě 750°C dojde k přeměně oxidů dusíku na NO. Vyřazení konvertoru lze v případě potřeby zajistit čtyřcestným ventilem (10). [40]

#### 4.2.4 Měření obsahu kyslíku metodou AOM



Obr. 4.6: Schematické zobrazení analyzátoru kyslíku [40]

1 - prstencová komora, 2 - magnetické pole, 3 - vyhřívaná trubice měřicími odpory,  
4 - indikátor, 5 - nulovací potenciometr, 6 - odpory s nízkou tepelnou závislostí

Metoda analýzy kyslíku v magnetickém poli se používá pro zjišťování zbytkového kyslíku ve zkoumaném plynu, který slouží jako kontrolní veličina. Sledují se zde paramagnetické vlastnosti kyslíku v magnetickém poli, které jsou nepřímo úměrné teplotě. [40]

Výfukové plyny jsou přivedeny do kovové komory (1), kterou spojuje skleněná trubice ovinutá topnou spirálou (3). Topná spirála tvoří jednu větev odporového můstku a vytváří tepelné pole s maximem ve středu trubice. Magnetické pole (2) elektromagnetu protíná trubici z jedné strany. Proudění plynu trubicí zabraňuje její vodorovná poloha. Molekuly kyslíku obsažené ve zkoumaném plynu jsou přitahovány magnetickým polem. Chladnější plyny v prstenci jsou přitahovány silněji než oteplené plyny v trubici. Výsledkem je vyvolané proudění plynu. Měřenou veličinou je elektrický proud, který se mění vyvolaným prouděním plynu, kdy toto proudění ochlazuje spirálu trubice a mění její elektrický odpor. Indikátor (4) ukazuje přímou koncentraci kyslíku z převedeného signálu. [40]

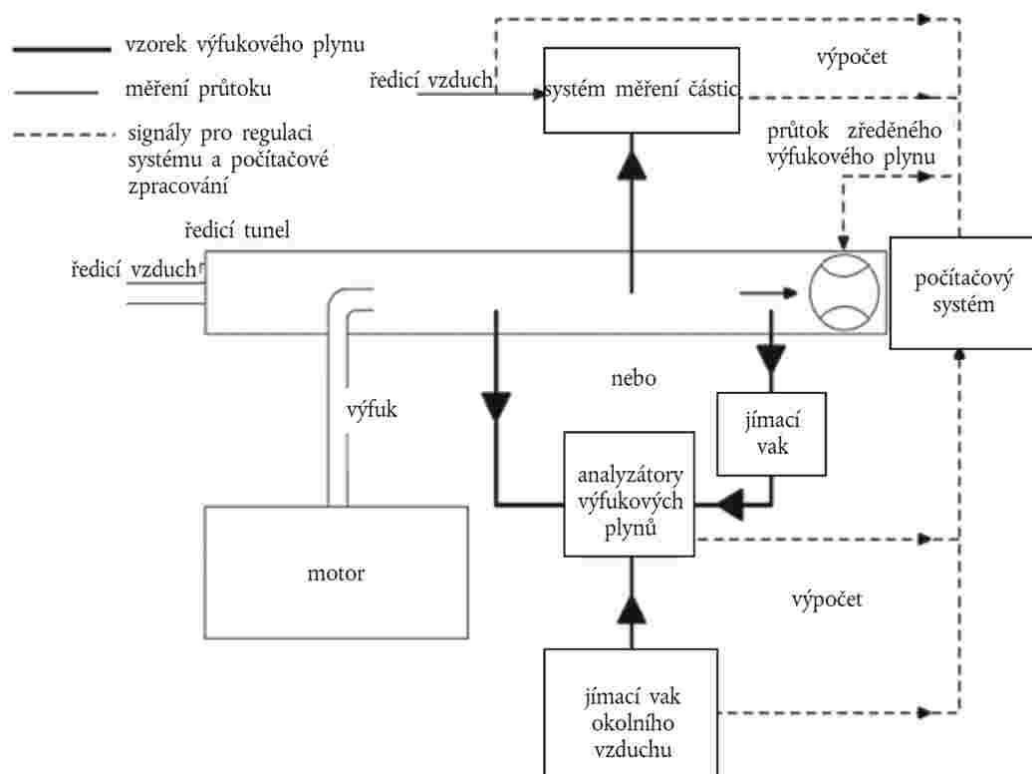
### 4.3 Ředění výfukových plynů (CVS)

Metoda ředění výfukových plynů zaručuje konstantní rozložení složek emisí v celém objemu směsi. Díky tomuto je zabráněno kondenzování vodních par, což zabrání reakcím ve výfukovém plynu, sníží se také ztráty  $\text{NO}_x$  v odebraném vzorku a dojde k zohlednění nestacionárních jízdních režimů. [36]

Systém pracuje s konstantním objemem (Constant Volume Sampling). „K výpočtu hmotnostních emisí se použijí signály měření koncentrací plynných složek, a to buď integrací za celý cyklus, nebo odběrem do jímacích vaků, které se vynásobí hmotnostním průtokem zředěného výfukového plynu. Hmotnostní průtok výfukového plynu se měří systémem odběru s konstantním objemem (CVS), který může používat objemové dávkovací čerpadlo (PDP), Venturiho trubici s kritickým prouděním (CFV) nebo Venturiho trubici s podzvukovým prouděním (SSV) s kompenzací průtoku nebo bez této kompenzace.“ [35]

„K odběru do jímacích vaků a k odběru vzorků částic se odebírá proporcionální vzorek ze zředěného výfukového plynu ze systému CVS. U systému bez kompenzace průtoku se nesmí poměr průtoku vzorku a průtoku systému CVS lišit o více než  $\pm 2,5 \%$  od hodnoty seřízené pro zkoušku. U systému s kompenzací průtoku musí být každá jednotlivá hodnota průtoku konstantní s maximální odchylkou  $\pm 2,5\%$  od příslušné cílové hodnoty průtoku.“ [35]

Následující obrázek 3.3 zachycuje zkušební sestavu systému CVS. Předpis EHK 49 a 83 poté předkládají podrobné početní metody, které umožňují přesné vypočtení emisních složek na základě znalosti hmotnostního průtoku zředěného výfukového plynu, celkového hmotnostního průtoku a údajů o kalibraci zařízení pro měření průtoku. [35]



Obr. 4.7: Schématické vyobrazení systému emisního měření s ředěním plného toku CVS [35]

#### 4.4 Početní metody pro jednotlivé emisní složky vycházející z emisního měření a analytických metod

Následující příklad napomůže k utvoření představy o tom, jak jsou jednotlivé emisní složky výfukových plynů určovány početní metodou, přičemž je třeba znát vstupní hodnoty, které poskytují analyzátory a metody, jimiž je zkoumaný výfukový plyn analyzován.

#### 4.4.1 Výpočet hmotnosti emisních složek výfukových plynů dle EHK 83 a EHK 49

Vstupní data pro výpočet jednotlivých emisních složek jsou získávána měřením, které se provádí v tomto konkrétním případě při zkoušce I. typu viz kap. 3.1.1.

Hmotnosti jednotlivých typů škodlivin, které se tímto způsobem určí, jsou porovnávány se stanovenými limitními hodnotami dle Tab. 3.1.

Hmotnost škodlivin se poté vypočte dle vztahu:

$$M_i = \frac{V_{mix} \cdot Q_i \cdot K_h \cdot C_i \cdot 10^{-6}}{d}, \quad (4.3)$$

kde  $M_i$  - hmotnost dané emise [ $\text{g} \cdot \text{km}^{-1}$ ],  
 $V_{mix}$  - objem zředěných výfukových plynů korigovaný na standardní podmínky [ $\text{l} \cdot \text{zkouška}^{-1}$ ],  
 $Q_i$  - hustota dané emise za normálního tlaku a teploty [ $\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ ],  
 $K_h$  - korekční koeficient vlhkosti (pouze v případě počítání  $\text{NO}_x$ ),  
 $C_i$  - koncentrace emise  $i$  ve zředěném výfukovém plynu, korigovaná množstvím emise obsažené v ředícím vzduchu [ppm],  
 $d$  - skutečná vzdálenost zkušebního cyklu.

Pomocí vzorce 4.3 se vypočtou jednotlivé emisní složky, předtím je však potřeba provést další pomocné výpočty, které jsou následně dosazeny.

Stanovení objemu  $V_{mix}$  a korekce tohoto objemu na standardní podmínky se provede pomocí:

$$V_{mix} = V \cdot K_1 \frac{P_B - P_1}{T_P}, \quad (4.4)$$

kde  $V$  - objem zjištěný z čerpadla nebo průtokoměru [ $\text{l} \cdot \text{zkouška}^{-1}$ ],  
 $K_1 = \frac{273,2 [\text{K}]}{101,33 [\text{kPa}]} = 2,6961 [\text{K} \cdot \text{kPa}^{-1}]$   
 $P_B$  - barometrický tlak ve zkušební místnosti [kPa],  
 $P_1$  - podtlak na vstupu objemového čerpadla [kPa],  
 $T_P$  - průměrná teplota zředěného výfukového plynu [K].

Koncentrace dané emise ve zředěném výfukovém plynu je potřeba zkorigovat hodnotou možného obsahu dané emise v ředícím vzduchu:

$$C_i = C_e - C_d \cdot \left(1 - \frac{1}{DF}\right), \quad (4.5)$$

kde  $C_i$  - koncentrace znečišťující látky  $i$  ve zředěném výfukovém plynu, vyjádřená v ppm a přepočtená na množství znečišťující látky  $i$  obsažené v ředícím vzduchu,  
 $C_e$  - změřená koncentrace dané emise  $i$  ve zředěném výfukovém plynu [ppm]  
 $C_d$  - změřená koncentrace dané emise  $i$  ve vzduchu použitým pro ředění [ppm],  
 $DF$  - faktor ředění

Výpočet faktoru ředění podle:

$$DF = \frac{x}{C_{CO_2} + (C_{HC} + C_{CO}) \cdot 10^{-4}}, \quad (4.6)$$

kde  $X = 13,4$  pro benzin;  $X = 13,5$  pro naftu;  $X = 11,9$  pro LPG  
 $X = 9,5$  pro NG/biometan  
 $C_{CO2}$  - koncentrace  $CO_2$  ve vaku pro jímání vzorků vyjádřená v % objemu  
 $C_{HC}$ ,  $C_{CO}$  - koncentrace ve vaku pro jímání vzorků [ppm]

Pro přepočítání vlivu vlhkosti na výsledné hodnoty oxidů dusíku se použije následující rovnice:

$$K_h = \frac{1}{1 - 0,0329 \cdot (H - 10,71)}, \quad (4.6)$$

kde  $K_h$  - korekční součinitel,  
 $H$  - absolutní vlhkost [g ( $H_2O$ )/kg vzduchu],

Příklad výpočtu vychází z [40] kde byly použity následující vstupní hodnoty, jelikož nejsou k dispozici relevantní data pro výpočet z emisního měření, viz kapitola 5.5.

Tabulka 4.1: vstupní údaje ze zkoušky typu I [40]

Teplota okolí	23°C = 296,2 K		
Atmosferický tlak	$P_B = 101,33$ kPa		
Relativní vlhkost	$R_a = 60\%$		
Absolutní vlhkost	$H = 10,5092$ g ( $H_2O$ )/kg vzduchu		
Hustoty jednotlivých škodlivin za normálního tlaku a teploty	$Q_{HC} = 0,619$ g·l <sup>-1</sup> pro benzin a naftu		
	$Q_{HC} = 0,649$ g·l <sup>-1</sup> pro LPG		
	$Q_{HC} = 0,714$ g·l <sup>-1</sup> pro NG		
	$Q_{CO} = 1,25$ g·l <sup>-1</sup>		
	$Q_{NOx} = 2,05$ g·l <sup>-1</sup>		
	$Q_{CO2} = 1,964$ g·l <sup>-1</sup>		
Ujetá vzdálenost při zkoušce	$d = 10,98$ km		
Objem plynu redukovaný na standardní podmínky	$V = 51,961$ m <sup>3</sup>		
Údaje analyzátoru		Zředěný plyn [ppm]	Ředící vzduch [ppm]
	HC	92	3
	CO	470	0
	NO <sub>x</sub>	70	0
		[% objemu]	[% objemu]
	CO <sub>2</sub>	1,6	0,03

Znalost veškerých vstupních hodnot nám nyní umožňuje pokračovat v samotném výpočtu jednotlivých emisních složek, kdy prvním krokem je vypočítání korekčního součinitele  $K_h$  podle vztahu pro emisi oxidů dusíku (4.6):

$$K_h = \frac{1}{1 - 0,0329 \cdot (10,5092 - 10,71)} = 0,9934 \quad (4.7)$$

Koeficient ředění je určen ze vztahu (4.5) následovně:

$$DF = \frac{13,4}{1,6 + (92 + 470) \cdot 10^{-4}} = 8,091 \quad (4.8)$$

Výpočet korigované koncentrace pro danou emisi, v tomto případě pro nespálené uhlovodíky HC, proběhne podle (4.5):

$$C_{HC} = 92 - 3 \cdot \left(1 - \frac{1}{8,091}\right) = 89,371 \text{ ppm} \quad (4.9)$$

Dosazením do prvotního vztahu (4.3) vypočítáme konečnou hodnotu konkrétní emisní složky, v našem případě hmotnost emisí nespálených uhlovodíků HC:

$$M_{HC} = \frac{V_{mix} \cdot Q_{HC} \cdot C_{HC} \cdot 10^{-6}}{d} = \frac{51,961 \cdot 0,619 \cdot 89,371 \cdot 10^{-6}}{10,98} = 0,26 \text{ g} \cdot \text{km}^{-1} \quad (4.10)$$

Obdobně se bude postupovat při výpočtu hmotností dalších emisních složek, jako jsou emise oxidu uhelnatého, oxidů dusíku a oxidu uhličitého:

$$M_{CO} = \frac{V_{mix} \cdot Q_{CO} \cdot C_{CO} \cdot 10^{-6}}{d} = \frac{51,961 \cdot 1,25 \cdot 470 \cdot 10^{-6}}{10,98} = 3,34 \text{ g} \cdot \text{km}^{-1} \quad (4.11)$$

$$M_{NO_x} = \frac{V_{mix} \cdot Q_{NO_x} \cdot K_h \cdot C_{NO_x} \cdot 10^{-6}}{d} = \frac{51,961 \cdot 70 \cdot 0,9934 \cdot 2,05 \cdot 10^{-6}}{10,98} = 0,67 \text{ g} \cdot \text{km}^{-1} \quad (4.12)$$

$$C_{CO_2} = 1,6 - 0,03 \cdot \left(1 - \frac{1}{8,091}\right) = 1,573 \text{ ppm} \quad (4.13)$$

$$M_{CO_2} = \frac{V_{mix} \cdot Q_{CO_2} \cdot C_{CO_2} \cdot 10^{-6}}{d} = \frac{51,961 \cdot 1,964 \cdot 1,573 \cdot 10^{-6}}{10,98} = 0,146 \text{ g} \cdot \text{km}^{-1} \quad (4.12)$$

#### 4.4.2 Výpočet emise CO<sub>2</sub> na základě hmotnosti vozu

Výpočet emisí CO<sub>2</sub> se zde řídí nařízením Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 443/2009, které přišlo v platnost 23. dubna 2009. [41]

Nařízení upravuje stanovování výkonnostní emisní normy nových osobních automobilů v rámci integrovaného přístupu Společenství k problematice snižování emisí CO<sub>2</sub>. [41]

*„Jedním z důsledků těchto závazků je, že všechny členské státy budou muset podstatně snížit emise z osobních automobilů. Aby se dosáhlo nutného podstatného snížení emisí, je třeba provádět politiky a opatření na úrovni členských států a na úrovni Společenství ve všech odvětvích hospodářství Společenství, a ne pouze v odvětvích průmyslu a energetiky. Silniční doprava je druhým největším odvětvím Unie produkujícím emise skleníkových plynů a emise, které z ní pocházejí, se dále zvyšují. Pokud se budou dopady silniční dopravy na změnu klimatu nadále zvětšovat, značně to oslabí snížení dosažené v boji se změnou klimatu v jiných odvětvích.“* [41]

*„Toto nařízení stanoví výkonnostní požadavky na emise CO<sub>2</sub> pro nové osobní automobily s cílem zajistit řádné fungování vnitřního trhu a dosáhnout celkového cíle Společenství, tj. průměrných emisí 120 g CO<sub>2</sub>/km u nového vozového parku.“* [41]

Jinými slovy, nařízení má za úkol stanovit maximální limit emisí CO<sub>2</sub>, který musí nově vyrobené vozy splňovat a jehož hodnotu nesmějí překračovat.

Pokud dojde ze strany výrobce k překročení stanoveného limitu, bude tento



pokutován podle vzorce (4.13) vycházejícího z nařízení a který je platný od roku 2019.

Přičemž překročení stanoveného limitu je zde chápáno jako: „*kladný počet gramů na kilometr, o které průměrné specifické emise výrobce – s ohledem na snížení emisí CO<sub>2</sub> v důsledku schválených inovativních technologií – překročily jeho cíl pro specifické emise v daném kalendářním roce, zaokrouhlený na tři desetinná místa; a počtem nových osobních automobilů se rozumí počet nových osobních automobilů, jichž je výrobcem a jež byly zaregistrovány v daném roce.*“ [40]

$$(\text{překročení emisí} \cdot 95 \text{ EUR/gCO}_2/\text{km}) \cdot \text{počet nových osobních automobilů} \quad (4.13)$$

Výpočet specifické emise pro každý nový osobní automobil je určen podle následujícího vzorce:

$$\text{Specifické emise CO}_2 = E + a \cdot (M - M_0), \quad (4.14)$$

kde *Specifické emise CO<sub>2</sub>* - výsledná hodnota produkce CO<sub>2</sub> [g·km<sup>-1</sup>],  
*E* - průměrné cílové emise CO<sub>2</sub> [g·km<sup>-1</sup>],  
*a* - koeficient, *a* = 0,0457 pro roky 2012 až 2019  
*M* - hmotnost vozidla [Kg],  
*M<sub>0</sub>* - průměrná hmotnost vozidla [Kg].

Průměrné cílové emise *E* jsou stanoveny a upravovány příslušnou vyhláškou (ES) č. 443/2009, kdy jsou v současné době nastaveny na hodnotu 130 g·km<sup>-1</sup> pro rok 2012 až 2019. Dalším krokem je snížení cílové hodnoty na 95 g·km<sup>-1</sup> s platností od roku 2020. [41]

Hmotnost vozidla *M* je hmotnost daného vozu, pro který je specifická hodnota emisí CO<sub>2</sub> počítána. Průměrná hmotnost nově vyrobených vozidel *M<sub>0</sub>* se každé tři roky upravuje a vyjadřuje průměrnou hmotnost všech nově vyrobených vozidel na území některého z členských států za předchozí tři kalendářní roky. Pro současné období 2016 až 2019 činí tato hmotnost 1392,4 Kg. [41]

#### 4.4.3 Výpočet emise CO<sub>2</sub> podle výhřevnosti paliva

Základem pro početní metodu je znalost vybraných parametrů zkoumaných paliv uvedené v tab. 4.2. Konkrétně se jedná o hustotu, výhřevnost, emisní faktor a nedopal. Přičemž jednotlivé referenční údaje paliv, jsou upravovány příslušnými vyhláškami a normami. [42],[43],[44]

Tabulka 4.2: Referenční údaje paliv [42],[43],[44]

	$\rho$ [kg·m <sup>-3</sup> ]		Výhřevnost NVC [TJ·kt <sup>-1</sup> ]	Emisní faktor EF [t CO <sub>2</sub> ·TJ <sup>-1</sup> ]	Nedopal [-]
	Minimum	Maximum			
<b>Benzin</b>	720 <sup>(1)</sup>	775 <sup>(1)</sup>	44,3	69,3	0,01
<b>Nafta</b>	-	845 <sup>(1)</sup>	42,6	74,1	0,01
<b>CNG</b>	0,56 <sup>(2)</sup>	0,7 <sup>(2)</sup>	34,679	55,4	0,005
<sup>(1)</sup> - hustota při t = 15 °C <sup>(2)</sup> - za referenčních podmínek: tlaku 101,325 kPa, teplotě 288,15 K					

Určení vyprodukovaného množství CO<sub>2</sub> vypadá dle vyhlášky 480/12 Sb. následovně: „*Výpočet emisí CO<sub>2</sub> ze spalování fosilních paliv se provede podle vzorce (hmotnost paliva) x (výhřevnost paliva) x (emisní faktor uhlíku) x (1 - nedopal)*“ [45],[46]

Vzorec bude mít tedy následující podobu:

$$ECO_2 = m_p \cdot NVC_p \cdot EF_p \cdot (1 - nedopal), \quad (4.14)$$

kde  $ECO_2$  - celková hmotnost CO<sub>2</sub> spálením 1 tuny paliva [t]  
 $m_p$  - celková hmotnost paliva [t],  
 $NVC_p$  - výhřevnost paliva [TJ·t<sup>-1</sup>],  
 $EF_p$  - emisní faktor paliva [t CO<sub>2</sub>·TJ<sup>-1</sup>],  
 $nedopal$  - koeficient nedopalu [-].

Celkový objem paliva lze vypočítat pomocí následujícího vztahu:

$$V_p = \frac{m_p}{\rho_p}, \quad (4.15)$$

kde  $V_p$  - objem paliva v závislosti na hmotnosti [m<sup>3</sup>]  
 $m_p$  - celková hmotnost paliva [t],  
 $\rho_p$  - hustota paliva [t·m<sup>-3</sup>].

Hmotnost emise CO<sub>2</sub> vyprodukované z 1 m<sup>3</sup> paliva se určí podle:

$$mCO_2 = \frac{ECO_2}{V_p}, \quad (4.16)$$

kde  $mCO_2$  - celková hmotnost CO<sub>2</sub> vztažená k 1 m<sup>3</sup> [t·m<sup>-3</sup>],  
 $ECO_2$  - celková hmotnost CO<sub>2</sub> spálením 1 tuny paliva [t],  
 $V_p$  - objem paliva v závislosti na hmotnosti [m<sup>3</sup>].

Přepočet hmotnosti emise CO<sub>2</sub> na hmotnost CO<sub>2</sub> vzhledem k ujeté vzdálenosti se určí podle:

$$MCO_2 = mCO_2 \cdot \text{průměrná spotřeba paliva} \quad (4.17)$$

kde  $MCO_2$  - celková hmotnost CO<sub>2</sub> vztažená k 1 km [t·km<sup>-1</sup>],  
 $mCO_2$  - celková hmotnost CO<sub>2</sub> vztažená k 1 m<sup>3</sup> [t·m<sup>-3</sup>].  
 $\text{průměrná spotřeba paliva}$  - spotřeba automobilu na 100 km [l·km<sup>-1</sup>].

## 5 ANALÝZA VOZOVÉHO PARKU

Nejpřesnějšího výsledku při určování emisí CO<sub>2</sub> lze bezesporu dosáhnout emisním měřením, kdy jsme schopni z výstupů tohoto měření, viz tab. 4.1, poměrně snadno určit nejen emisi oxidu uhličitého, ale i další složky výfukových plynů.

Pokud tato data nejsou k dispozici, jeví se jako nejrelevantnější postup určovat emise CO<sub>2</sub> z výhřevnosti paliva, viz kap. 4.4.3, jelikož je zde možné emise určit na základě spotřebovaného paliva a hodnot, viz tab. 4.2, které jsou každoročně upravovány příslušnými vyhláškami ([42],[43],[44]).

Nejméně relevantní je pak metoda určování emisí na základě hmotnosti vozu, viz kap. 4.4.2. Pokud uvážíme konstrukci vozidla, které je provozováno na stlačený zemní plyn, je díky zástavbě použitého systému (nádrž na stlačený zemní plyn, rozvody plynu, vstřikovací systém a ostatní pomocné prvky) tohle vozidlo těžší oproti stejnému vozidlu, provozovanému na benzin. Výsledkem by tedy byla vyšší emisivita oxidu uhličitého u vozidla na CNG, čemuž tak nemůže být, jelikož toto palivo dosahuje ze své podstaty nejnížší emisivity.

Následující porovnávání dat tedy bude vycházet právě z výpočtů na základě výhřevnosti paliva.

### 5.1 Porovnání emisí CO<sub>2</sub> stanovených výpočtem s emisemi udávanými výrobcem

Tabulka 5.1: Parametry zkoumaných vozidel dle výrobce [47]

Typ vozidla	Palivo	Průměrná spotřeba <sup>(2)</sup> [l,m <sup>3</sup> ·100km <sup>-1</sup> ]	CO <sub>2</sub> výrobce [g·km <sup>-1</sup> ]
1,4 TSI 110 kW <sup>(1)</sup>	Benzin	5,3	124
2,0 TDI 110 kW <sup>(1)</sup>	Nafta	4,3	113
1,4 TSI 81 kW G-TEC <sup>(1)</sup>	Benzin	5,8	132
	CNG	5,7	102
<sup>(1)</sup> - mechanická převodovka, 6 stupňů			
<sup>(2)</sup> - průměrná kombinovaná spotřeba (městský provoz, provoz mimo město)			

- Výpočet emisí CO<sub>2</sub> pro motor 1,4 TSI 110 kW spálením 1 tuny paliva a převedení této hodnoty na g CO<sub>2</sub> na 1 km dle (4.14), (4.15), (4.16), (4.17):

$$ECO_2 = m_p \cdot NVC_p \cdot EF_p \cdot (1 - nedopal) =$$

$$= 1 \cdot 0,0443 \cdot 69,3 \cdot (1 - 0,01) = 3,039 \text{ tCO}_2$$
(5.1)

Spálením 1 tuny motorového benzínu dojde k vyprodukování celkem 3,039 t CO<sub>2</sub>, dále je nutné přepočítat hmotnost spotřebovaného paliva na objem, což se provede následovně:

$$V_p = \frac{m_p}{\rho_p} = \frac{1}{0,775} = 1,29 \text{ m}^3$$
(5.2)

Hmotnost emise CO<sub>2</sub> vyprodukované z objemu spáleného paliva v m<sup>3</sup> a převedení spáleného paliva na litry:

$$mCO_2 = \frac{ECO_2}{V_p} = \frac{3,039}{1,29} = 2,356 \text{ tCO}_2 \cdot \text{m}^{-3} = 2,356 \cdot 10^{-3} \text{ tCO}_2 \cdot \text{l}^{-1} \quad (5.3)$$

Posledním krokem je vypočtení emise CO<sub>2</sub> vzhledem k průměrné spotřebě vozidla udávané výrobcem viz tab. 5.1 a převedení této hodnoty na 1 km ujeté vzdálenosti:

$$\begin{aligned} MCO_2 &= mCO_2 \cdot \text{průměrná spotřeba paliva} = \\ &= 2,356 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{5,3}{100} = 1,248 \cdot 10^{-4} \text{ t CO}_2 \cdot \text{km}^{-1} = \\ &= 124,8 \text{ g CO}_2 \cdot \text{km}^{-1} \end{aligned} \quad (5.4)$$

Vozidlo Škoda Octavia Combi s motorem 1,4 TSI 110 kW a pohonem na benzin tedy vyprodukuje dle výpočtu 124,8 g CO<sub>2</sub> na 1 km.

- **Výpočet emisí CO<sub>2</sub> pro motor 2,0 TDI 110 kW spálením 1 tuny paliva a převedení této hodnoty na g CO<sub>2</sub> na 1 km dle (4.14), (4.15), (4.16), (4.17):**

$$\begin{aligned} ECO_2 &= m_p \cdot NVC_p \cdot EF_p \cdot (1 - \text{nedopal}) = \\ &= 1 \cdot 0,0426 \cdot 74,1 \cdot (1 - 0,01) = 3,125 \text{ tCO}_2 \end{aligned} \quad (5.5)$$

Spálením 1 tuny motorové nafty dojde k vyprodukování celkem 3,125 t CO<sub>2</sub>, dále je nutné přepočítat hmotnost spotřebovaného paliva na objem, což se provede následovně:

$$V_p = \frac{m_p}{\rho_p} = \frac{1}{0,845} = 1,183 \text{ m}^3 \quad (5.6)$$

Hmotnost emise CO<sub>2</sub> vyprodukované z objemu spáleného paliva v m<sup>3</sup> a převedení spáleného paliva na litry:

$$mCO_2 = \frac{ECO_2}{V_p} = \frac{3,125}{1,183} = 2,641 \text{ tCO}_2 \cdot \text{m}^{-3} = 2,641 \cdot 10^{-3} \text{ tCO}_2 \cdot \text{l}^{-1} \quad (5.7)$$

Posledním krokem je vypočtení emise CO<sub>2</sub> vzhledem k průměrné spotřebě vozidla udávané výrobcem viz tab. 5.1 a převedení této hodnoty na 1 km ujeté vzdálenosti:

$$\begin{aligned} MCO_2 &= mCO_2 \cdot \text{průměrná spotřeba paliva} = \\ &= 2,641 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{4,3}{100} = 1,1356 \cdot 10^{-4} \text{ t CO}_2 \cdot \text{km}^{-1} = \\ &= 113,56 \text{ g CO}_2 \cdot \text{km}^{-1} \end{aligned} \quad (5.8)$$

Vozidlo Škoda Octavia Combi s motorem 2,0 TDI 110 kW a pohonem na naftu tedy vyprodukuje dle výpočtu 113,56 g CO<sub>2</sub> na 1 km.

- **Výpočet emisí CO<sub>2</sub> pro motor 1,4 TSI 81 kW G-TEC spálením 1 m<sup>3</sup> paliva a převedení této hodnoty na g CO<sub>2</sub> na 1 km dle (4.14), (4.15), (4.16), (4.17).**

Oproti výpočtům pro dvě předešlá vozidla je zde potřeba zohlednit plynné palivo a do vzorce (4.14) dosadit namísto hmotnosti právě objem spalovaného paliva, výpočet poté proběhne tímto způsobem:

$$ECO_2 = V_p \cdot NVC_p \cdot EF_p \cdot (1 - nedopal) = \quad (5.9)$$

$$= 1 \cdot 0,034679 \cdot 55,4 \cdot (1 - 0,005) = 1,9116 \text{ kg } CO_2$$

kde  $ECO_2$  - celková hmotnost  $CO_2$  spálením 1 m<sup>3</sup> paliva [kg]  
 $V_p$  - celkový objem paliva [m<sup>3</sup>],  
 $NVC_p$  - výhřevnost paliva [TJ·t<sup>-1</sup>],  
 $EF_p$  - emisní faktor paliva [t  $CO_2$ ·TJ<sup>-1</sup>],  
 $nedopal$  - koeficient nedopalu [-].

Spálením 1 metru krychlového plynného paliva dojde k vyprodukování celkem 1,9116 kg  $CO_2$ . Současně zde odpadá potřeba přepočtu objemu paliva a hmotnosti emise ze spáleného objemu paliva a lze přejít rovnou k výpočtu dle průměrné spotřeby udávané výrobcem viz tab. 5.1 a převedení této hodnoty na 1 km ujeté vzdálenosti:

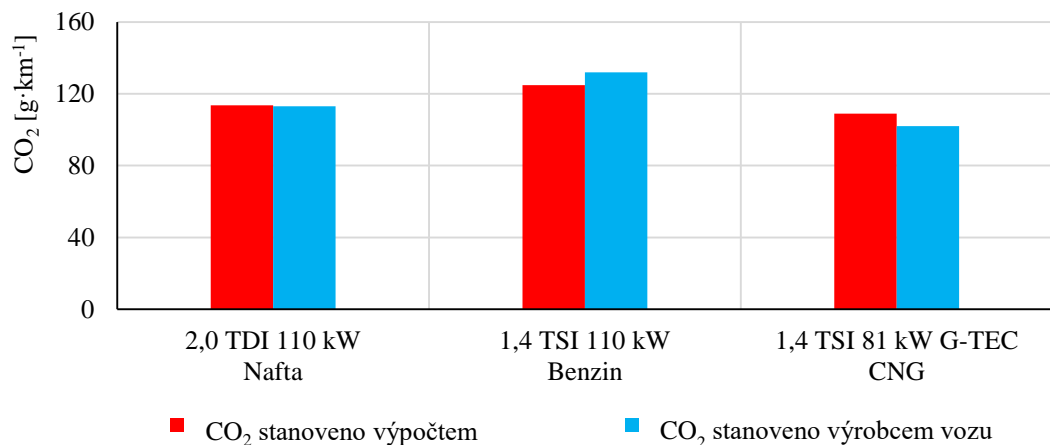
$$MCO_2 = ECO_2 \cdot \text{průměrná spotřeba paliva} = \quad (5.12)$$

$$= 1,9116 \cdot \frac{5,7}{100} = 0,10896 \text{ kg } CO_2 \cdot km^{-1} = 108,96 \text{ g } CO_2 \cdot km^{-1}$$

Vozidlo Škoda Octavia Combi s motorem 1,4 TSI 81 kW G-TEC a pohonem na CNG tedy vyprodukuje dle výpočtu 108,96 g  $CO_2$  na 1 km.

Nejnižší produkce oxidu uhličitýho zde dosahuje vozidlo se zážehovým motorem 1,4 TSI 81 kW a provozem na CNG viz obr. 5.1. Výsledek vychází z kombinované spotřeby udávané výrobcem. Vozidlo spalující CNG produkuje nižší emisi  $CO_2$  i navzdory tomu, že má vyšší kombinovanou spotřebu oproti motoru 2,0 TDI, který pohání nafta.

Pokud bychom uvážili stejnou spotřebu benzinové jednotky TSI, jakou má jednotka TDI, byl by na tom i benzinový motor lépe oproti naftovému.



Obr. 5.1: Porovnání hodnot emise  $CO_2$  vypočtené s udanou výrobcem

## 5.2 Porovnání reálných dat s hodnotami výrobce

Poskytnutá data vozového parku pro rok 2018 jsou pro celkem 134 vozidel Škoda Octavia Combi. Konkrétně je zde zastoupeno 21 vozidel se vznětovým motorem 2,0 TDI 110 kW. Dále je zde obsaženo celkem 109 automobilů poháněných CNG s jednotkou 1,4 TSI G-TEC 81 kW a poslední 4 vozy jsou provozovány čistě na benzín s motorem 1,4 TSI 110 kW.

### 5.2.1 Průměrná spotřeba vozidel

Průměrná spotřeba vozidel byla určena na základě dat získaných z provozu a to konkrétně podle celkového nájezdu daných vozidel a celkově spotřebovaného paliva.

Tabulka 5.2: Spotřeba paliva

Typ vozidla	Palivo	Průměrná spotřeba výrobce <sup>(2)</sup> [l,m <sup>3</sup> ·100km <sup>-1</sup> ]	Průměrná reálná spotřeba [l,m <sup>3</sup> ·100km <sup>-1</sup> ]
1,4 TSI 110 kW <sup>(1)</sup>	Benzin	5,3	8,23
2,0 TDI 110 kW <sup>(1)</sup>	Nafta	4,3	5,89
1,4 TSI 81 kW G-TEC <sup>(1)</sup>	Benzin	5,8	5,95
	CNG	5,7	6,10
<sup>(1)</sup> - mechanická převodovka, 6 stupňů			
<sup>(2)</sup> - průměrná kombinovaná spotřeba (městský provoz, provoz mimo město)			

#### • 1,4 TSI 110 kW

První porovnávanou skupinou byla čtyři vozidla se zážehovým motorem 1,4 TSI, která zde dosáhla v průměru 8,23 l·100 km<sup>-1</sup> o celkovém nájezdu 100 870 km. Hodnota průměrně spotřebovaného paliva z reálného provozu zde převyšuje výrobcem udávanou kombinovanou spotřebu o 2,93 l·100 km<sup>-1</sup>.

Podíl na vyšší reálné spotřebě, oproti té, kterou udává výrobce, může nést hned několik faktorů. Prvním z nich je metoda, kterou je výrobcem udávaná hodnota získávána. Jedná se o data měřená za ideálních podmínek s konstantním zatížením a konstantním jízdním cyklem. Vozidla, která jsou provozována v běžném provozu, nemohou už z principu dosahovat stejných hodnot, jelikož dochází k neustálé změně jízdních režimů, popojíždění s vozem apod. Dalším vlivem podílejícím se na vyšší spotřebě má okolní teplota, ve které je vozidlo provozováno. Není ničím neobvyklým, že automobily dosahují v zimním období vyšší spotřeby, než je tomu v létě a to klidně i o více jak 1 litr paliva. Nemalou vinu na vyšší spotřebě oproti deklarované výrobcem, nese i samotný řidič, kdy změnou z agresivní jízdy na klidnou, je schopen další úspory paliva. Posledním z možných příčin může být stáří vozidel a četnost jejich využití.

Nejnižší průměrné spotřeby 7,43 l·100 km<sup>-1</sup> bylo dosaženo u vozidla s celkovým nájezdem 21 709 km. Nejvyšší průměrné spotřeby zde dosahoval vůz s ročním nájezdem 1 306 km a to konkrétně 9,94 l na 100 km.

- **2,0 TDI 110 kW**

Druhou skupinou je 21 vozidel se vznětovým motorem. Průměrná spotřeba činí  $5,89 \text{ l} \cdot 100 \text{ km}^{-1}$  a celkový nájezd  $527\,919 \text{ km}$ . Touto hodnotou je tak spotřeba o  $1,59 \text{ l}$  vyšší oproti té, kterou udává výrobce. Naftová flotila vozidel je na tom ve srovnání s těmi benzinovými, co se týče průměrné reálné spotřeby lépe. Nabízí se zde několik možností proč tomu tak je. Výše zmíněná skupina 4 benzinových vozidel je malý objem dat, proto se zde razantněji promítne vyšší spotřeba jednoho vozidla a navýší celkovou průměrnou spotřebu. Druhým možným faktorem je podstata, pro kterou jsou vznětové motory pořizovány a to nižší spotřeba na dlouhých trasách, je proto možné, že byly tyto vozy provozovány převážně na dálnicích.

- **1,4 TSI 81 kW G-TEC**

Poslední a zároveň nejpočetnější skupinou, je celkem 109 vozidel provozovaných na kombinovaný provoz CNG a benzin. Celkový nájezd je pro tyto vozy  $3\,069\,461 \text{ km}$ . Rozdíl ve spotřebě průměrné vypočtené a udávané výrobcem je vyšší hodnota reálné spotřeby CNG o  $0,4 \text{ m}^3 \cdot 100 \text{ km}^{-1}$  a dále  $0,15 \text{ l} \cdot 100 \text{ km}^{-1}$ . Tyto vozy se tak nejvíce přiblížili spotřebě, deklarované výrobcem.

Nižší průměrná reálná spotřeba oproti předchozím dvěma skupinám vozidel zde bude pravděpodobně zapříčiněna jednak samotnou pohonnou jednotkou a dále faktem, že jsou vozy provozovány v průměru z  $89,34 \%$  na CNG a řídicí jednotka těchto vozidel je primárně konstruována právě na pohon stlačeným zemním plynem. Benzin je u těchto vozidel využíván převážně pro zahřátí motoru a nouzový provoz. Nasvědčovat by tomu mohlo vozidlo, u kterého byla zaznamenána průměrná reálná spotřeba o  $2,66 \text{ m}^3$  na  $100 \text{ km}$  více v porovnání s tou, kterou udává výrobce, toto vozidlo bylo provozováno na CNG z  $31,3 \%$ .

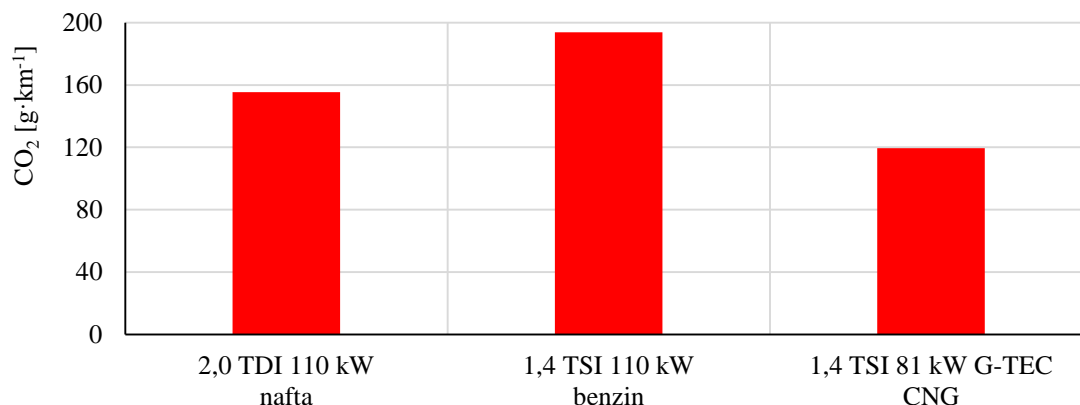
## **5.2.2 Porovnání hodnot emise $\text{CO}_2$**

Emise oxidu uhličitého byla vypočtena pro všechna vozidla s ohledem na jejich reálnou spotřebu a poté byl proveden průměr hodnot pro každou skupinu vozidel. Nejnižší produkce zde dosahuje vozidlo na CNG, u kterého byla vypočtena produkce  $\text{CO}_2$  jak z provozu na benzin, tak z provozu na zemní, poté byl proveden výpočet průměrné emise s ohledem na procentuální využití provozu na stlačený zemní plyn.

Porovnávané vozy, viz obr 5.2, dosahují v průměru celkem  $193,85 \text{ g} \cdot 100 \text{ km}^{-1}$  pro 4 vozidla poháněná benzinovou jednotkou, dále  $155,54 \text{ g} \cdot 100 \text{ km}^{-1}$  u celkem 21 vozidel s motorem 2,0 TDI a v poslední řadě  $119,12 \text{ g} \cdot 100 \text{ km}^{-1}$  pro motor 1,4 TSI poháněný plynem s nejvyšším zastoupením 109 vozů.

Pokud bychom brali v potaz vyšší spotřebu  $9,94 \text{ l} \cdot 100 \text{ km}^{-1}$  u jednoho ze čtyř benzinových vozidel, která je zde nejspíše způsobená nízkým ročním nájezdem (lze tak usuzovat, že vozidlo bylo využíváno převážně pro městský provoz) a ze statistiky jej vyřadili, stále se zde bude pohybovat emisivita benzinových vozidel okolo  $180 \text{ g} \cdot 100 \text{ km}^{-1}$ .

Celkově pak vozidla vyprodukovala za rok  $469,63 \text{ tun}$  oxidu uhličitého. Jednotlivě je zde produkce  $18,52 \text{ t CO}_2$  pro benzinové vozy, dále  $83,84 \text{ t CO}_2$  u naftových vozidel a  $367,27 \text{ t CO}_2$  vyprodukovaly za rok CNG vozy.



Obr. 5.2: Průměrné emise CO<sub>2</sub> vozového parku

### 5.3 Alternativní složení vozového parku a úspora CO<sub>2</sub>

Při tomto srovnávání budeme vycházet z celkového nájezdu všech 134 vozidel, který za rok činí 3 698 250 km. Ohled zde budeme brát jednak na kombinovanou spotřebu udávanou výrobcem a dále na reálnou spotřebu jednotlivých vozidel. Vypočtené hodnoty jsou uvedeny v tab. 5.3.

Tabulka 5.3: Procentuální vyhodnocení emise CO<sub>2</sub>

Typ vozidla	Palivo	Nájezd [km]	Produkce CO <sub>2</sub> spotřeba výrobce [t] <sup>(1)</sup>	Produkce CO <sub>2</sub> reálná spotřeba [t] <sup>(2)</sup>	Rozdíl [%]
1,4 TSI 110 kW	Benzin	100 870	12,59	18,52	32,02
2,0 TDI 110 kW	Nafta	527 919	59,95	83,84	28,49
1,4 TSI 81 kW G-TEC	CNG	3 069 461	343,50	367,27	6,47
<b>Celkem</b>		3 698 250	416,04	469,63	11,41
<sup>(1)</sup> - průměrná kombinovaná spotřeba (městský provoz, provoz mimo město)					
<sup>(2)</sup> - spotřeba z reálného provozu vozidel					

Výrazného rozdílu teoretických hodnot oproti těm z reálného provozu zde dosahuje benzinový motor, u kterého činí rozdíl 32,02 % a odlišuje se oproti hodnotám výrobce o 5,93 t CO<sub>2</sub> za rok. Naopak nejlepšími výsledky se můžou chlubit vozidla poháněná stlačeným zemním plynem. Při výpočtu bylo zohledněno průměrné využití 89,34 % provozu na CNG a bylo zde opět počítáno se spotřebou výrobce a tou reálnou. Tyto vozy se odklání od teoretických hodnot o 6,47 % a 23,77 t CO<sub>2</sub> za rok.

Celková produkce vozového parku ve složení: 4 benzinová vozidla, 21 naftových vozidel a 109 CNG vozidel, činí reálných 469,63 t CO<sub>2</sub> za rok a odklání se tak touto hodnotou o 11,41 % a 53,59 t CO<sub>2</sub> za rok.

Následující tabulka, viz tab. 5.4, udává vypočítané hodnoty nového vozového parku. Výpočet zde vychází z celkově ujeté vzdálenosti 3 698 250 km a produkce CO<sub>2</sub> ze spotřeby výrobce a poté reálné spotřeby, kdy byly postupně pro jednotlivé motorizace vypočteny nové hodnoty hmotnosti emisí, u vozidel poháněných CNG bylo zohledněno i průměrné využití 89,34 % provozu na CNG.



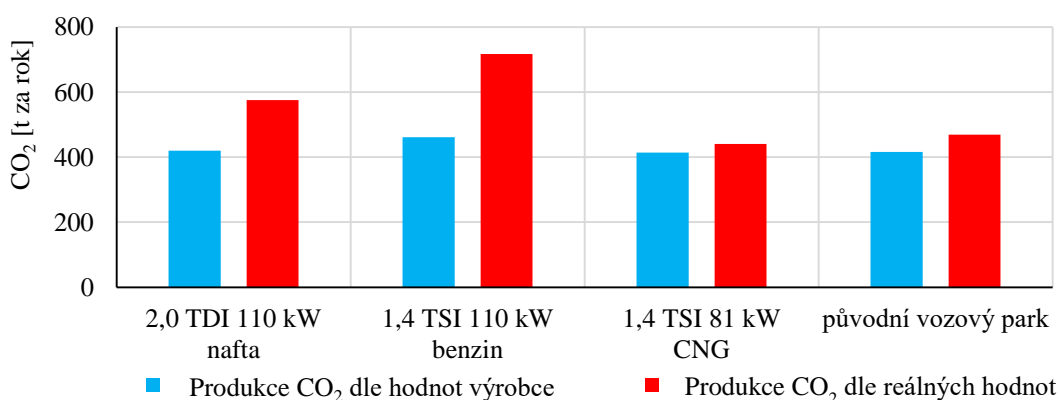
Tabulka 5.4: Alternativní vozový park a emise CO<sub>2</sub>

Typ vozidla	Palivo	Produkce CO <sub>2</sub> spotřeba výrobce [t] <sup>(1)</sup>	Rozdíl [%] <sup>(4)</sup>	Produkce CO <sub>2</sub> reálná spotřeba [t] <sup>(2)</sup>	Rozdíl [%] <sup>(4)</sup>
1,4 TSI 110 kW <sup>(3)</sup>	Benzin	461,69	9,89	716,92	34,49
2,0 TDI 110 kW <sup>(3)</sup>	Nafta	419,94	0,93	575,22	18,36
1,4 TSI 81 kW G-TEC <sup>(3)</sup>	CNG	413,87	-0,52	440,53	-6,61
<b>Původní sestava vozidel</b>		416,04		469,63	
<sup>(1)</sup> - průměrná kombinovaná spotřeba (městský provoz, provoz mimo město) <sup>(2)</sup> - spotřeba z reálného provozu vozidel <sup>(3)</sup> - celkový nájezd 3 698 250 km <sup>(4)</sup> - rozdíl jednotlivých motorizací oproti původnímu vozovému parku					

Tyto hodnoty vypovídají o tom, že pokud by byla flotila vozidel poháněna pouze benzinovým motorem, navýšila by se produkce oxidu uhličitého o 45,65 tun podle teoretických hodnot a dle reálné spotřeby paliva dokonce o 247,29 t CO<sub>2</sub> za rok, čímž tyto vozidla navyšují celkovou produkci CO<sub>2</sub> o 34,49% oproti původnímu složení vozovému parku.

Vozový park poháněný ryze naftovými vozy by v porovnání s těmi benzinovými emitoval méně oxidu uhličitého. Celkově by vozidla 2,0 TDI 110 kW vyprodukovala za jedno roční období podle spotřeby uváděné výrobcem o 3,9 t CO<sub>2</sub> více, než původní vozový park, dle reálných hodnot spotřeby z provozu, by se potom produkce navýšila o 18,36 % a 105,59 t CO<sub>2</sub>. Úspory proti původnímu složení by tedy nedosahovala ani naftová flotila.

Naopak v zastoupení pouze CNG vozidel, u kterých je počítáno s 89,34 % využitím pohonu na stlačený zemní plyn, dochází k úspoře roční emise CO<sub>2</sub> a to u teoretických hodnot o 0,52 % a reálných dat vycházejících z provozu o 6,61 %. Provoz vozového parku, který by poháněly pouze vozy 1,4 TSI G-TEC, by tedy za jeden rok dokázal uspořit v přepočtu na hmotnost 29,1 t CO<sub>2</sub>.



Obr. 5.3: Porovnání úspory emisí vzhledem k alternativnímu vozovému parku

Výše uvedený přehled, viz obr 5.3, nám dává představu o tom, že směr, kterým se zde majitel vozového parku ubírá, je ten správný. Použití benzinových vozidel není na místě, dle reálných hodnot tyto vykazují nejvyšší emisivitu ve srovnání s ostatními

a nejlépe na tom nejsou ani naftové vozy. Původní složení vozového parku je téměř ideální a nejlepších výsledků, pokud jde o emisi oxidu uhličitého, lze dosáhnout za použití pouze vozidel, které jsou provozovány na zemní plyn.

Podle průměrného provozu 109 vozidel s pohonem na zemní plyn z 89,34 %, u aktuálního vozového parku lze soudit, že jsou vozidla využívána k účelu, kterému mají sloužit, tedy k úspornosti a šetrnosti vzhledem k životnímu prostředí.

Další úspory emisí CO<sub>2</sub> by majitel mohl dosáhnout, kdyby ostatní vozy současného parku (naftové a benzinové) využíval pouze v případě nutnosti nebo jako havarijní vozy a ty, které pohání zemní plyn, využíval s provozem na zemní plyn ve vyšší míře oproti současným 89,34 %.

## 5.4 Úspora emisí, vzhledem k předešlému období

Převážná většina firem nejen u nás, ale i ve světě, využívá pro svoji potřebu naftové vozy. Předpoklady pro to jsou zřejmé, oproti benzinovým vozům, dosahují ty naftové větší úspornosti paliva a produkují méně emisí oxidu uhličitého. Následující srovnání poskytne pohled na to, jak by to vypadalo, pokud by majitel vozidel, jenž poskytl data ke své firemní flotile, viz tab. 5.5, provozoval automobily poháněné pouze na naftu a kolik dokáže díky provozu CNG vozidel uspořit ročně emisí.

Hodnoty byly vypočteny pro každé vozidlo a motorizaci jednotlivě. Vycházejí z průměrné reálné spotřeby vozidel z provozu a průměrných emisí, které byly určeny na základě reálné průměrné spotřeby.

Tabulka 5.5: Data vozového parku za období 3 let

	Motorizace	Počet	Nájezd [km]	Průměrně produkuje [g·CO <sub>2</sub> ·km <sup>-1</sup> ]	Produkce CO <sub>2</sub> [t]
<b>2016</b>	1,4 TSI 110 kW	4	102 270	195,71	20,26
	2,0 TDI 110 kW	36	837 363	157,54	132,11
	1,4 TSI 81 kW	111	1 944 063	121,07	234,11
	<b>celkem</b>	<b>151</b>	<b>2 883 696</b>		<b>386,48</b>
<b>2017</b>	1,4 TSI 110 kW	4	111 301	194,23	22,29
	2,0 TDI 110 kW	28	652 779	157,60	104,19
	1,4 TSI 81 kW	96	2 520 933	122,40	301,19
	<b>celkem</b>	<b>128</b>	<b>3 285 013</b>		<b>427,67</b>
<b>2018</b>	1,4 TSI 110 kW	4	100 870	193,85	18,52
	2,0 TDI 110 kW	21	527 919	155,54	83,84
	1,4 TSI 81 kW	109	3 069 461	119,12	367,27
	<b>celkem</b>	<b>134</b>	<b>3 698 250</b>		<b>469,63</b>

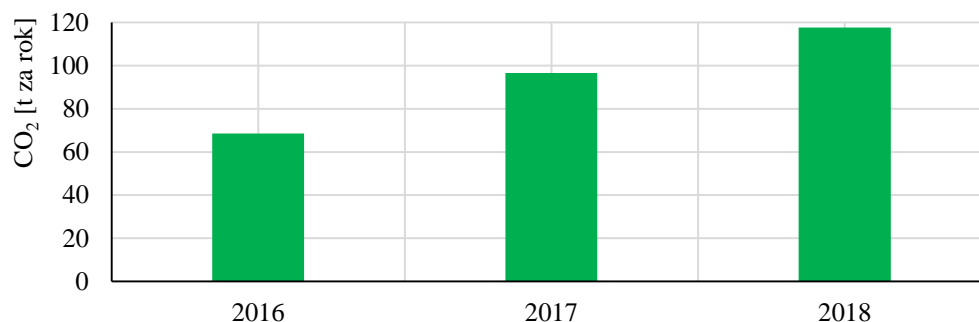
Celkově vozidla v roce 2016, viz tab. 5.5, vyprodukovala 386,48 t CO<sub>2</sub>. Průměrná spotřeba vozidel byla v tomto roce 8,31 l·100 km<sup>-1</sup> u benzinových vozidel, dále 5,97 l·100 km<sup>-1</sup> měly vozy poháněné naftou. CNG vozidla měla průměrnou spotřebu zemního plynu 6,19 m<sup>3</sup>·100 km<sup>-1</sup> a v provozu na benzin činila průměrná spotřeba 5,04 l·100 km<sup>-1</sup>, tyto vozy byly využívány z 89,42 % provozu na zemní plyn.

Pro rok 2017, viz tab. 5.5, činila celková produkce CO<sub>2</sub> 427,66 t. Benzinové vozy měly v tomto období průměrnou spotřebu 8,25 l·100 km<sup>-1</sup>, naftové vozy potom 5,97 l·100 km<sup>-1</sup> a u CNG vozidel činila spotřeba 6,19 m<sup>3</sup>·100 km<sup>-1</sup> v provozu na zemní plyn a 6,17 l·100 km<sup>-1</sup> s provozem na benzin. Využití pohonu na CNG bylo v tomto období na hodnotě 89,26%.

Poslední období 2018 je aktuálním rokem a hodnoty jsou ty, které byly vyhodnocovány v předešlé kapitole 5.2 a 5.3.

Následující obrázek, viz 5.4, vypovídá o snaze majitele vozového parku posouvat se v oblasti emisí směrem kupředu. Pokud by byla vozidla s celkovým kilometrovým nájezdem pro jednotlivá období provozována na naftový pohon, činila by zde exhalace pro rok 2016 454,29 t CO<sub>2</sub>, v roce 2017, by tato hodnota vzrostla o 63,41 t CO<sub>2</sub>, v posledním roce 2018 by byla emisivita vozového parku s pohonem na naftu 575,22 t CO<sub>2</sub> za jeden rok.

Tím, že majitel vozového parku používá v převážné většině vozidla na stlačený zemní plyn, díky tomu v roce 2016 uspořil oproti čistě naftovému provozu vozidel 67,81 t CO<sub>2</sub>. Následující období se díky tomuto provozu podařilo vyprodukovat o 90,04 t CO<sub>2</sub> méně a nejvyšší úspory bylo dosaženo v roce 2018, kdy byla emisivita menší o 105, 59 t CO<sub>2</sub>, oproti alternativnímu vozovému parku, který by byl provozován pouze na naftu.



Obr. 5.4: Úspora emisí CO<sub>2</sub> za období 3 let

## 5.5 Porovnání exhalace měřených vozidel

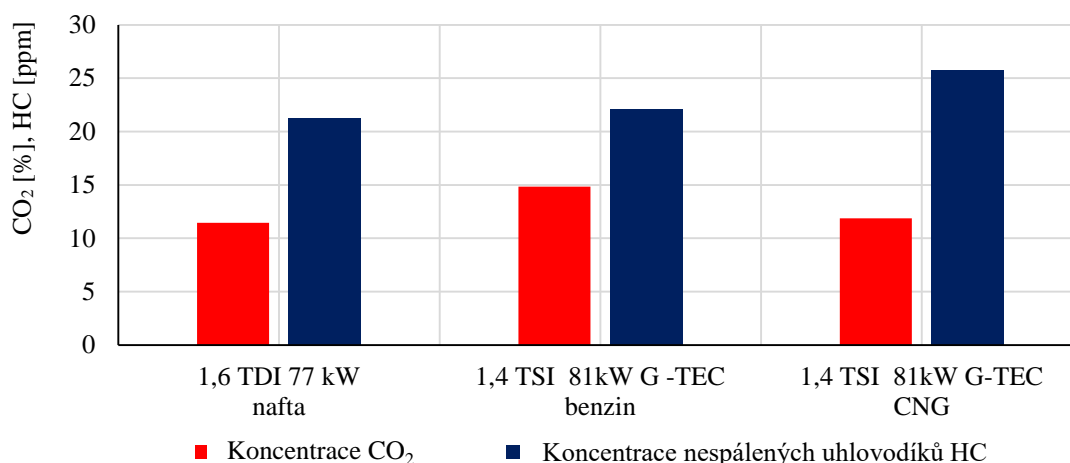
Majitelem vozového parku byly pro účely porovnání poskytnuty hodnoty z emisního měření dvou vozidel. Prvním měřeným, byla Škoda Octavia Combi s motorem 1,6 TDI a výkonem 77 kW. Druhým měřeným vozidlem byla opět Škoda Octavia Combi, avšak s kombinovaným provozem, kdy první měření probíhalo s aktivovaným pohonem na benzin a druhé měření probíhalo při spalování zemního plynu, jednalo se o vozidlo s jednotkou 1,4 TSI 81 kW G-TEC.

Zjišťování emisních hodnot proběhlo na zkušebním dynamometru za použití emisního čtyř-složkového analyzátoru. Měření ovšem neproběhlo korektně, důsledkem čehož jsou neúplná data tohoto měření, která neumožňují přepočítání získaných hodnot emisí na množstevní jednotku s ohledem na ujetou vzdálenost. Získané hodnoty

jsou pouze procentuálním vyjádřením z měřeného objemu plynů. Pokud by měření proběhlo podle předpokladů, byly by k dispozici hodnoty, díky kterým by bylo možné určit hmotnost jednotlivých emisních složek dle postupu, jako je tomu v předešlé kapitole, viz kap. 4.4.1.

Získané hodnoty informativního charakteru nám i navzdory tomu mohou poskytnout nějakou výpověď o použitém druhu paliva a typu pohonné jednotky a bude díky nim možno diskutovat toto s teoretickými předpoklady z první části práce.

Následující zobrazení dvou změřených emisních složek, viz obr. 5.5, vzájemně porovnává průměrné hodnoty z měření zkoušených vozidel mezi sebou.



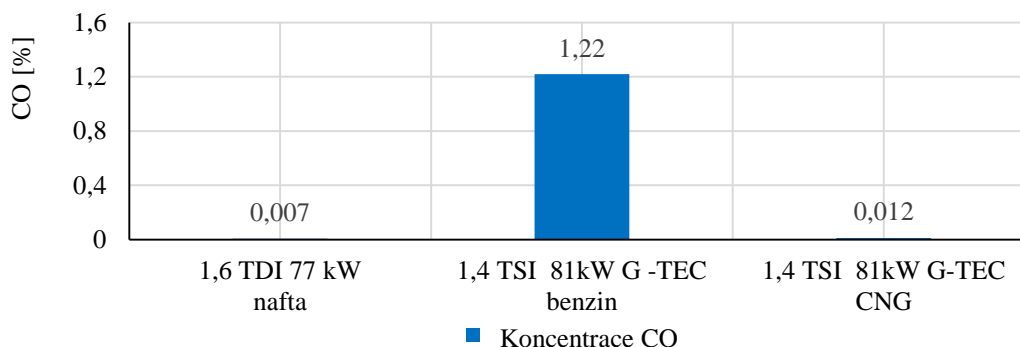
Obr. 5.5: Podíl emisí CO<sub>2</sub> a HC

Nejvyšší koncentrace oxidu uhličitého, v průměru 14,84 %, zde dosahovalo vozidlo 1,4 TSI s pohonem na benzin, čímž se potvrzují teoretické předpoklady vyšší emisivity CO<sub>2</sub> vzhledem k naftovému provozu a provozu na stlačený zemní plyn. Naopak nejlepšího výsledku dosahoval pohon na naftu s koncentrací 11,44 %. Nižší exhalace CO<sub>2</sub> u naftového vozu (v přepočtu o 0,43 % oproti pohonu na CNG) je zde pravděpodobně způsobena právě nižší spotřebou, kterou všeobecně tyto vozy disponují. Pokud by byla spotřeba vozidel totožná, byla by emisivita CO<sub>2</sub> naftového vozu vyšší. Nabízí se zde také možnost špatného seřízení systému CNG, kdy byl současně se zemním plynem spalován i benzin.

Nejvyšší emisivity nespálených uhlovodíků dosahoval motor 1,4 TSI a to s pohonem na stlačený zemní plyn. Naskytá se hned několik možností, proč tomu tak je. Nejpravděpodobnější vychází ze samotné podstaty provozu vozidla na CNG. Tyto systém spalují suchou směs paliva, do válce motoru je tedy současně se směsí palivo/vzduch přistřikováno ještě mazací medium, které má za účel zabránit vyššímu opotřebení motoru, což se může neblaze projevit právě na vyšších emisích HC. Pokud tento systém nepoužívá tzv. přímazávání, řeší se spalování suché směsi změnou vstřikovacího cyklu, kdy je před přivedením zemního plynu do spalovací komory vstříknuta bohatá směs benzínu a vzduchu, což má za úkol jednak ochladit stěny válce a také zabránit opět vyššímu opotřebení stěn válce a sedel ventilů, nedokonalé vyhoření bohaté směsi se však projevuje zvýšenou hodnotou HC. Další reálná příčina může být selektivního charakteru, kdy se jedná o konkrétní problém daného vozidla, které může vlivem například špatné údržby, či provozu spalovat mazací olej. Pokud porovnáme naftový pohon s tím benzínovým,

dosahuje zde vyšší emise nespálených uhlovodíků provoz na benzin. Opět se zde jako reálné vysvětlení nabízí vyšší spotřeba paliva u benzinového motoru, či rozdílná konstrukce spalovací komory obou motorů, kdy konstrukční řešení motoru 1,6 TDI může umožňovat lepší prohoření směsi, než konstrukční uzpůsobení motoru 1,4 TSI, tato skutečnost však není známa.

Následující zobrazení, viz obr. 5.6, porovnává měřená vozidla z hlediska exhalace oxidu uhelnatého.



Obr. 5.6: Emise CO u měřených vozidel

Pokud budeme změřené výsledky konzultovat s teorií, opět se zde potvrdí teoretické předpoklady, kdy v případě emise oxidu uhelnatého je na tom nejhůře právě zážehový motor 1,4 TSI. Koncentrace CO ve výfukových plynech zde dosahovala v průměru 1,22 %. Pohon na stlačený zemní plyn zde vykazoval v průměru 0,012% a nejnižší emise byla zaznamenána u motoru 1,6 TDI, poháněného naftou, a to v průměru 0,007 %.

Nejvyšší produkce oxidu uhelnatého v případě pohonu na benzin je pravděpodobně způsobena spalováním bohatší směsi u zážehových motorů, kdy vlivem toho může dojít k zamrznutí chemických reakcí, právě nedostatkem kyslíku ve směsi, čímž se navýší i emisivita. Nasvědčuje tomu i fakt, že plynná směs paliva, kterou je poháněno vozidlo při provozu na CNG, je z hlediska tvoření zápalné směsi, jejímu zapálení a vyhoření, výhodnější oproti benzinu, důsledkem čehož je produkce CO u CNG vozidla nižší. Dále se zde může opět projevit faktor údržby vozidla, či funkčnost systémů, které mají za úkol snižovat emise.

## 6 FINANČNÍ/EKOLOGICKÝ ASPEKT PROVOZU VOZOVÉHO PARKU

Poskytnutá data vozového parku pro rok 2018 nezahrnovala náklady na provoz vozidel, aby tedy bylo možné zohlednit i finanční stránku věci, bude zde kalkulováno s průměrnými cenami pohonných hmot za období počínaje prvním týdnem roku 2018 a konče padesátým prvním týdnem roku 2018. Průměrné spotřebitelské ceny byly převzaty ze statistiky Českého statistického úřadu. Cena benzínu, Natural 95, pro dané období byla 32,11 Kč za 1 litr paliva. Průměrná cena motorové nafty pro rok 2018 činila 31,60 Kč za 1 litr paliva [48]

Úřad se nezabývá cenami alternativních pohonných hmot, do kterých spadá stlačený zemní plyn CNG. Kalkulace tedy bude vycházet z ceny stlačeného zemního plynu ke dni 6. 5. 2018. Cena zemního plynu je dlouhodobě stabilní oproti benzínu a naftě a v průměru se za posledních 6 let pohybuje v rozmezí 17 až 19 Kč za 1 metr krychlový. Průměrná cena CNG tedy činí k tomuto dni 26,23 Kč za 1 kg, což v přepočtu na jednotku objemu vychází na 18,36 Kč za 1 m<sup>3</sup>. [49]

Tabulka 6.1: Finanční náklady provozu pro rok 2018

Typ vozidla	Nájezd [km]	Průměrná reálná spotřeba [l,m <sup>3</sup> ·100km <sup>-1</sup> ]	Cena za 1 km [Kč]	Náklady na provoz celkem [Kč]
1,4 TSI 110 kW	100 870	8,23	2,64	252 457
2,0 TDI 110 kW	527 919	5,89	1,86	1 003 287
1,4 TSI 81 kW G-TEC	3 069 461	5,95 <sup>(1)</sup>	1,21 <sup>(3)</sup>	3 722 907
		6,10 <sup>(2)</sup>		
<sup>(1)</sup> - průměrná reálná spotřeba provozu na CNG <sup>(2)</sup> - průměrná reálná spotřeba provozu na benzin <sup>(3)</sup> - cena provozu při 89,34 % využití pohonu CNG				

Celková cena provozu benzinových automobilů s motorem 1,4 TSI 100 kW činí pro dané období 252 457 Kč, kdy čtveřice vozidel najela celkem 100 870 kilometrů. Ujetím této vzdálenosti bylo spotřebováno 7862 litrů paliva, což po přepočtu stanovuje hodnotu průměrnou hodnotu 2,64 Kč pro ujetí jednoho kilometru.

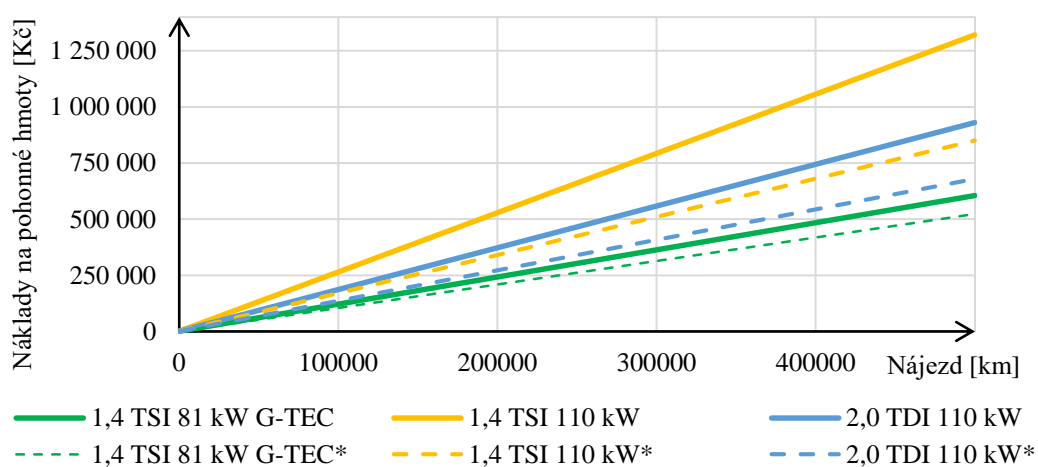
Naftové vozy 2,0 TDI 110 kW spotřebovaly celkem 31 750,20 litrů paliva, na které ujely vzdálenost 527 919 kilometrů, celkově se tedy cena provozu vyšplhala na 1 003 287 Kč, pokud hodnotu převede na cenu za jeden ujetý kilometr, bude tato v průměru 1,86 Kč, což je o 0,78 korun méně oproti vozidlům benzinovým.

Nejnižší ceny, v porovnání s benzinovými a naftovými vozy, dosahuje pohon na stlačený zemní plyn s motorem 1,4 TSI 81 kW G-TEC. Pokud bychom brali v potaz provoz CNG vozidel pouze na stlačený zemní plyn, výsledná cena pro ujetí jednoho kilometru a současně ceně 18,36 Kč za 1 m<sup>3</sup>, by činila 1,11 Kč. Musíme zde však uvážit i provoz na benzin. Při 89,34 % provozu ve prospěch CNG, jsou celkové náklady 3 722 907 Kč a tyto vozidla s nájezdem 3 069 461 km stojí ujetí jednoho kilometru 1,21 Kč, což je o 1,43 Kč méně než v případě benzinového vozidla 1,4 TSI 110 kW a o 0,65 Kč za jeden kilometr méně než u vozu naftového s motorem 2,0 TDI 110 kW.

Nutno podotknout, že se zde jedná o náklady spojené pouze se spotřebou paliva, ceny na provoz vozidel nezahrnují další náklady, jako jsou servis vozidel, náklady spojeny s provozem ve formě nečekaných výdajů, pojištění vozidel apod. Tyto údaje nebyly majitelem vozového parku poskytnuty. Stejně tak není počítáno s nákupní cenou jednotlivých typů vozidel, s amortizací, obnovou vozového parku a podobně.

Celkově tedy náklady na pohonné hmoty vozového parku pro rok 2018 se 4 benzinovými vozy, 21 vozidly poháněnými naftou a 109 vozy s kombinovaným provozem, činily 4 978 651 Kč.

Následující obrázek, viz obr. 6.1, zachycuje odlišnost nákladů na pohonné hmoty podle průměrné spotřeby udávané výrobcem vozidel (na obrázku 6.1 zobrazeno přerušovanou čarou) a spotřeby reálné, která vychází z dat o provozu vozidel, v závislosti na ujeté vzdálenosti.



Obr. 6.1: Náklady na pohonné hmoty dle reálné spotřeby a spotřeby deklarované výrobcem

Ujetí jednoho kilometru benzinových vozidel stojí v průměru 2,64 Kč dle reálné spotřeby  $8,23 \cdot 100\text{km}^{-1}$ , pokud bychom brali v potaz průměrnou spotřebu  $5,3 \cdot 100\text{km}^{-1}$ , kterou uvádí výrobce, lišily by se náklady pro ujetí jednoho kilometru o 0,94 Kč a výsledná částka by činila 1,70 Kč. Náklady pro ujetí jednoho kilometru u vozidel poháněných naftovým motorem, by po uvážení spotřeby výrobce  $4,3 \cdot 100\text{km}^{-1}$ , vyšly v přepočtu o 0,5 Kč levněji, tedy na 1,36 Kč. Nejmenšího rozdílu mezi teoretickou hodnotou a tou reálnou z provozu, zde dosahují vozidla s pohonem na CNG. Cena za ujetí jednoho kilometru byla stanovena z průměrné kombinované spotřeby  $5,7 \text{ m}^3 \cdot 100\text{km}^{-1}$  a 100% využitím pohonu na stlačený zemní plyn. Výsledná částka je rozdílná o 0,16 Kč, náklady pro ujetí jednoho kilometru podle spotřeby výrobce by tedy činily 1,05 Kč.

Pokud by vozidla umožňovala dosažení katalogové spotřeby, celkově by to v případě daného vozového parku, který tvoří čtyři benzinové vozy, dvacet jedna naftových vozidel a sto devět CNG vozů, s celkovým nájezdem 3 698 250 km, znamenalo úsporu 877 234 Kč oproti reálným nákladům 4 978 651 Kč.

## 6.1 Promítnutí silniční daně do nákladů na provoz

Majitel vozového parku je dle zákona č. 16/1993 Sb., jakožto obchodní společnost, povinen hradit silniční daň. Daň silniční se však nevztahuje na vozidla pro přepravu osob, či nákladu, jejichž nejmenší povolená hmotnost nepřesáhne 12 tun a vozidla jsou poháněna buď elektrickým, nebo hybridním pohonem, či spalují buď zkapalněný ropný plyn, nebo stlačený zemní plyn. [50]

Základ daně je v případě osobních automobilů určen na základě zdvihového objemu motoru, viz tab. 6.2.

Tabulka 6.2: Roční sazba daně osobních vozidel dle zdvihového objemu [50]

Zdvihový objem motoru v cm <sup>3</sup>	Roční sazba daně v Kč
do 800	1200
nad 800 do 1250	1800
nad 1250 do 1500	2400
nad 1500 do 2000	3000
nad 2000 do 3000	3600
nad 3000	4200

Výslednou výši sazby ovlivňuje také stáří vozidel. „Sazba daně se u vozidel snižuje o 48 % po dobu následujících 36 kalendářních měsíců od data jejich první registrace a o 40 % po dobu následujících dalších 36 kalendářních měsíců a o 25 % po dobu následujících dalších 36 kalendářních měsíců. Nárok na příslušné snížení sazby daně vzniká počínaje kalendářním měsícem první registrace vozidla a končí u téhož vozidla po 108 kalendářních měsících“ [50]

Tabulka 6.3: Finanční náklady provozu pro rok 2018 spolu s daní silniční

Typ vozidla	Nájezd [km]	Průměrná reálná spotřeba [l,m <sup>3</sup> ·100km <sup>-1</sup> ]	Cena za 1 km [Kč]	Náklady na provoz celkem [Kč]
1,4 TSI 110 kW	100 870	8,23	2,92	257 449
2,0 TDI 110 kW	527 919	5,89	1,96	1 039 407
1,4 TSI 81 kW G-TEC	3 069 461	5,95 <sup>(1)</sup>	1,21	3 722 907
		6,10 <sup>(2)</sup>		
<sup>(1)</sup> - průměrná reálná spotřeba provozu na CNG				
<sup>(2)</sup> - průměrná reálná spotřeba provozu na benzin				

Vozidla s pohonem na CNG nejsou v případě daného vozového parku touto vyhláškou zatížena a není nutné za ně daň silniční odvádět. Ostatní vozidla s pohonem na benzin a naftu se řídí právě zákonem č. 16/193 Sb.. Stáří vozidel se v případě daného vozového parku pohybuje v rozmezí 12/2013 až 12/2017, jedná se o vozy, které splňují kritérium dané vyhláškou, proto pro tyto automobily byla vypočtena silniční daň, která se promítla na ceně provozu.

Vozidla se zážehovým motorem 1,4 TSI 110 kW jsou mladší 36 měsíců, proto



se na tyto uplatňuje sleva ve výši 48 %, což po přepočtu činí daň ve výši 1248 Kč pro každé vozidlo jednotlivě. Výsledně se pak tato hodnota promítne na nákladech za provoz navýšením ceny za jeden ujetý kilometr o 0,28 Kč.

Vozidla se vznětovým motorem 2,0 TDI 110 kW podléhají vyšší sazbě kvůli vyššímu obsahu, konkrétně se jedná o částku 3 000 Kč pro každé vozidlo, při uvažování slevy 40 % u vozidel starších 36 měsíců, činí tato hodnota 1 800 Kč. Vozy, které nepřevyšují stáří 36 měsíců, uplatňují nárok na slevu ve výši 48 % a 1 440 Kč. Silniční daň se na naftových vozech odrazí navýšením ceny provozu za jeden ujetý kilometr o deset haléřů.

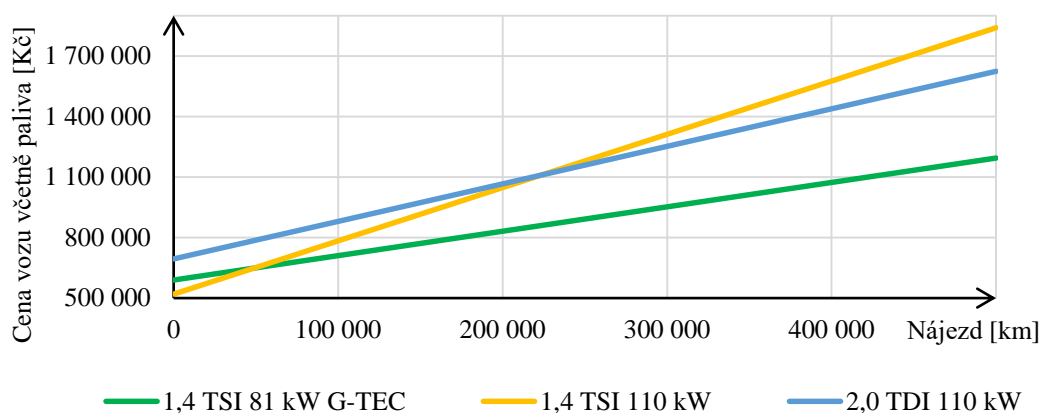
Celkové náklady na provoz vozového parku se po započítání silniční daně zvýší o 41 112 Kč, čímž udávají roční náklady na provoz firemní flotily v celkové výši 5 022 763 Kč

## 6.2 Náklady na provoz vozidel spolu s kupní cenou

Mimo nákladů spojených s pohonnými hmotami je nutno brát v potaz také počáteční ceny vozidel a jejich dlouhodobý nájezd, díky tomu lze dostat představu o tom, jak se budou finanční náklady na provoz vozidel vyvíjet spolu s ujetou vzdáleností. Kupní ceny vozidel byly určeny pro všechny tři typy motorizací z cenové nabídky výrobce vozidel včetně DPH. Bohužel zde není opět známá skutečná finanční stránka věci, proto byly ceny určeny na základě katalogových cen.

Kupní cena vozu Škoda Octavia Combi ve výbavě Ambient s benzinovým motorem 1,4 TSI 110 kW činí podle stránek výrobce 518 900 Kč, touto částkou se tak jedná o nejlevnější variantu ze tří vozidel. Druhá varianta s motorizací 1,4 TSI 81 kW G-TEC a kombinovaným provozem na stlačený zemní plyn je ve stejné výbavě o 70 000 Kč dražší, čímž se zde dostáváme na kupní cenu vozu 588 900 Kč. Naftová motorizace 2,0 TDI 110 kW je nejdražší variantou ze tří vozidel a kupní cena tohoto vozu činí 693 900 Kč, čímž je o celých 175 000 Kč nákladnější ve srovnání s čistě benzinovou motorizací

Ceny vozidel byly zahrnuty do výpočtů spolu s reálnými daty o spotřebě a cenami za pohonné hmoty. Výsledek je zobrazen viz obr. 6.2.



Obr. 6.2: Grafické znázornění kupní ceny vozu a nákladů na provoz

Na první pohled je zde patrné, že nejnižší vstupní náklady nabídne vozidlo s motorem 1,4 TSI na benzinový pohon, avšak s přibývajícím nájezdem a zohlednění nákladů na pohonné hmoty se ceny benzinové varianty a motorizace 1,4 TSI 81 G-TEC s pohonem na CNG vyrovnají. Vozidlo s pohonem na stlačený zemní plyn se začne vyplácet oproti tomu benzinovému již při nájezdu 5 000 km, čímž se setře počáteční úspora 70 000 Kč.

Konečná cena vozidla spolu s náklady na provoz se v případě porovnání naftové varianty s benzinovou, vyrovná při nájezdu okolo 220 000 km a v porovnání s vozidlem na CNG se zde ani naftová varianta finančně nevyplatí.

### 6.3 Náklady na provoz vozidel včetně operativního leasingu

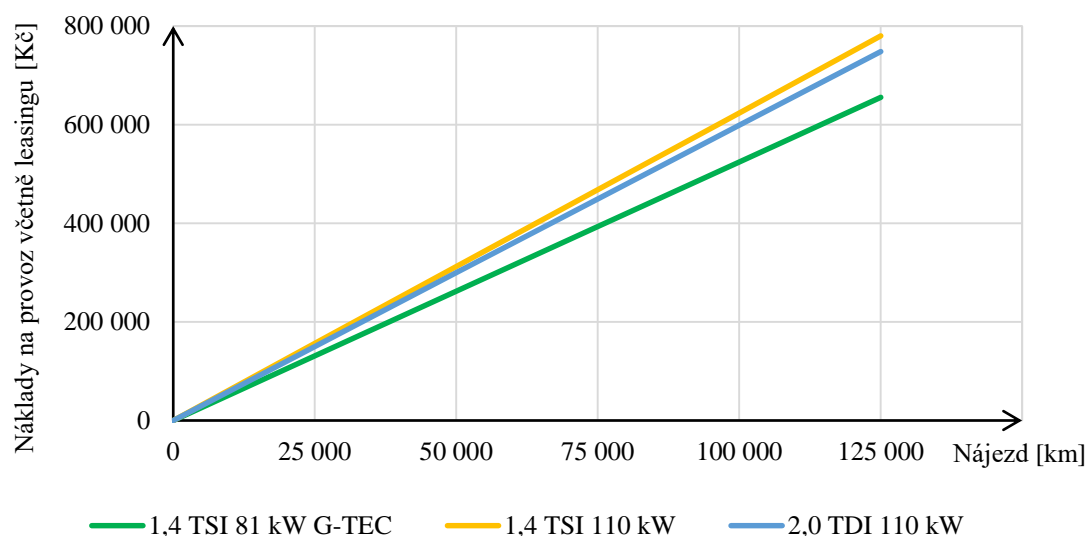
Převážná většina firem v dnešní době sahá po možnosti pronájmu automobilů, kdy se jedná o tzv. operativní leasing. Toto řešení s sebou přináší hned několik výhod, přičemž tou nejméně zanedbatelnou je pravidelná obnova vozového parku, kdy je díky tomu možno udržovat jakýsi standard a technický stav vozidel.

Opět zde není znám finanční podtext, proto byly vybrány průměrné ceny pronájmu vozidel (včetně DPH), viz tab. 6.4, které zahrnují zákonné pojištění vozidel, havarijní pojištění s 10 % účastí, dále silniční daň a poplatek za registraci vozidla. Některé společnosti také umožňují do splátek pronájmu zahrnout servisní náklady po dobu pronájmu vozidla, monitoring automobilu, popřípadě nadstandardní asistenci.

Tabulka 6.4: Náklady na provoz vozidel, vycházející z reálné spotřeby a průměrné ceny pronájmu

Typ vozidla	Nájezd [km]	Výše měsíční splátky [Kč]	Cena za 1 km [Kč]	Náklady na provoz celkem [Kč]
1,4 TSI 110 kW	25000 <sup>(1)</sup>	8600	2,64	780 000 <sup>(2)</sup>
2,0 TDI 110 kW		7500	1,86	748 500 <sup>(2)</sup>
1,4 TSI 81 kW G-TEC		8400	1,21	655 250 <sup>(2)</sup>
<sup>(1)</sup> - maximální roční nájezd vozidla				
<sup>(2)</sup> - Náklady na provoz, včetně měsíčních splátek, po dobu pěti let				

Předpokládaná doba využití vozidla je zde po dobu pěti let, přičemž maximální nájezd činí 25 000 km pro jeden kalendářní rok. Hodnoty, které vycházejí z reálné průměrné spotřeby vozidel, byly vyneseny do grafické závislosti spolu s výší měsíční splátky za pronájem vozidla, viz obr. 6.3.



Obr. 6.3: Náklady na provoz zahrnující pronájem vozidel po dobu 5 let

Náklady na provoz spolu s pohonnými hmotami a pronájmem benzinové varianty vozu s motorem 1,4 TSI a výbavou Ambient, činí celkově 780 000 Kč za dané období pronájmu. Naftová varianta se zde pohybuje ve výši 748 000 Kč. Nejlépe, v porovnání s předchozími vozy, zde vychází pronájem automobilu s motorizací 1,4 TSI G-TEC a pohonem na CNG, u kterého i navzdory vyšší měsíční splátce činí konečná hodnota nákladů 655 250 Kč.

Pokud bychom porovnali variantu, kdy jsou vozy pronajímány leasingovou společností a nejsou tedy ve vlastnictví firmy, podařilo by se takto společnosti za dané období 5 let ušetřit oproti variantě, kdy jsou vozy zakoupeny.

Celková výše úspor pro jedno vozidlo by zde byla 85 000 Kč pro motorizaci 1,4 TSI a pohonem na stlačený zemní plyn a dále 69 300 Kč pro benzinovou variantu 1,4 TSI. Nejvyšší úspory lze takto dosáhnout v případě pronájmu naftové motorizace 2,0 TDI, v celkové výši 177 900 Kč.

Pokud tedy budeme brát v potaz jednak finanční stránku věci a poté i ekologický aspekt, jeví se zde tou nejlepší volbou právě vozidlo na stlačený zemní plyn a obměna vozového parku každých 5 let.

# ZÁVĚR

Diplomová práce seznamuje v první kapitole s nejrozšířenějšími palivy v oblasti automobilové dopravy. Díky tomu je možné získat přehled o způsobu výroby těchto paliv a jejich vlastnostech, což napomůže k pochopení mechanismu vzniku škodlivých emisí a částic.

Popisuje typické emisní složení výfukových plynů u nejrozšířenějších motorizací, kterými jsou benzinové a dieselové motory a zároveň je vzájemně porovnává.

Snahou zde bylo popsat mechanismus, díky kterému typické emise vznikají, především pak oxid uhličitý, jehož emitování vozidlem je závislé na složení paliva a množství paliva, které dané vozidlo spálí za ujetou vzdálenost. Dále práce popisuje prvky a konstrukční uzpůsobení vozidel a samotné pohonné jednotky, které mají vliv na množství škodlivých složek, což napomůže k dalšímu prohloubení znalostí a ucelení přehledu o vzniku emisí výfukových plynů a také způsobům, díky kterým jsou tyto exhalace potlačovány.

Rešerše v oblasti emisního měření, která zde byla provedena, zase poskytne přehled o tom, jak jsou dané emisní limity vozidel ověřovány. Poznatky, které zde byly získány, jsou poté uplatněny v další části práce, která se zabývá početními metodami. Konkrétně je zde popsán modelový příklad, který vysvětluje počítání emisí z výstupních hodnot emisního měření. Další metodou je určování množství emise oxidu uhličitého na základě hmotnosti vozidla a také výhřevnosti paliva. Pro další postup byla zvolena metoda poslední, tedy výpočet hmotnosti CO<sub>2</sub> dle výhřevnosti paliva, výhodou tohoto postupu je každoroční úprava hodnot příslušnými vyhláškami, které jsou potřeba pro tento výpočet, což poskytuje aktuální a relevantní výsledky.

Díky této metodě bylo možno provést v praktické části práce srovnání celkem 134 vozidel, kdy majitel vozového parku poskytl data z reálného provozu firemní flotily.

Prvním faktorem, který zde byl řešen, je spotřeba vozidel reálná a ta, kterou prezentuje výrobce vozidel. Průměrná reálná spotřeba převyšuje udávanou výrobcem, čímž se toto projeví i na výsledné výši emisí CO<sub>2</sub>. Největšího rozdílu zde dosahovala motorizace 1,4 TSI 110 kW a pohonem na benzin a to i za předpokladu, kdy by došlo k vynechání vozidla s nejvyšší spotřebou ze statistiky.

Dále bylo provedeno porovnání produkce CO<sub>2</sub> vozovým parkem, kdy v případě uvážení reálné spotřeby vyprodukovalo 134 vozidel celkem 469,63 tun CO<sub>2</sub> za jeden rok. Nejvyšší produkce pak dosahovala 4 vozidla s motorem 1,4 TSI 110 kW a pohonem na benzin v průměrné výši 193,85 g · 100 km<sup>-1</sup>. Následovalo 21 vozidel s naftovým motorem 2,0 TDI 110 kW, kdy se emisivita pohybovala v průměru 155,54 g · 100 km<sup>-1</sup> a nejlepších hodnot dosahuje pohon na CNG a jednotka 1,4 TSI 81 kW, kdy 109 vozidel v průměru produkovalo 119,23 g · 100 km<sup>-1</sup>.

Úspora emisí CO<sub>2</sub> byla vypočtena s ohledem na jednotlivé druhy paliva, kdy byl zohledněn celkový nájezd 3 698 250 km vozového parku pro rok 2018 a postupně byla určena emisivita alternativního složení, které činilo pouze benzinové vozy, dále čistě naftové a v poslední řadě s pohonem na CNG. Zde by dosahoval další úspory emisí pouze vozový park, který by byl složený výhradně z vozidel poháněných stlačeným zemním plynem. Za jedno období, by se takto podařilo majiteli vozidel uspořit celkem 29,1 tun CO<sub>2</sub>. Podobným způsobem byla určena i úspora emisí CO<sub>2</sub> za období 3 let, kdy majitel

flotily uspořil za rok 2016 celkem 63,41 tun CO<sub>2</sub> oproti čistě naftovému pohonu vozidel, dále v roce 2017 celkem 90,04 tun a v roce 2018 činí úspora emisí CO<sub>2</sub> za dané období celkem 105,59 tun.

Porovnání naměřených hodnot v kapitole 5.5 zde bylo možno provést pouze částečně, jelikož nebylo dosaženo korektního měření a nebylo možné jej opakovat. Srovnání hodnot je zde proto provedeno pouze z hlediska objemů měřených emisních složek, kdy z toho měření vychází, z pohledu emise CO<sub>2</sub>, nejhůře vozidlo s pohonem na benzin.

Závěr práce je věnován finanční stránce vozového parku, kdy náklady na provoz za pohonné hmoty pro rok 2018 atakovaly hranici 5 000 000 korun a pro ujetí téměř 3 070 000 km bylo spotřebováno celkem 28 451 litrů benzínu, dále 31 750 litrů motorové nafty a v poslední řadě 166 754 metrů krychlových zemního plynu. Poslední část je dále věnována nákladům spojeným se silniční daní, dále vyhodnocení nákladů spolu s kupní cenou vozidel a porovnání operativního leasingu pro jednotlivé motorizace.

Vhodným navázáním na tuto práci by bylo emisní měření minimálně tří vozidel s typovými pohonnými jednotkami, pro každé palivo zvlášť. Přičemž výstupem by bylo právě porovnání dat určených početní metodou a hmotnost emisních složek vycházejících z tohoto měření, čehož v případě této práce bohužel nebylo možno dosáhnout. Dále by se tato práce mohla v teoretické části ubírat porovnáním paliv s obsahem biosložek a jejich vlastností oproti palivům konvenčním.

Výše zmíněné hodnoty, nejen úspory emisí za předešlé období, ale i konkrétní složení vozového parku s drtivou převahou vozidel poháněných zemním plynem svědčí o tom, že majitel firemní flotily se ubírá, co se týče ochrany životního prostředí, tím správným směrem.

# LITERATURA

- [1] VLK, František. *Paliva a maziva motorových vozidel*. Brno, 2006. ISBN 8023964615.
- [2] HROMÁDKO, Jan. *Spalovací motory: Charakteristika automobilových paliv* [online]. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, Technická fakulta [cit. 2019-11-04]. Dostupné z: [http://oppa-smad.tf.czu.cz/?q=system/files/2.Pr\\_.ppt](http://oppa-smad.tf.czu.cz/?q=system/files/2.Pr_.ppt)
- [3] *Paliva spalovacích motorů* [online]. Liberec: Technická univerzita v Liberci, Fakulta strojní, Katedra vozidel a motorů [cit. 2019-11-04]. Dostupné z: <http://www.kvm.tul.cz/getFile/id:2571>
- [4] ČSN EN 228+A1: Motorová paliva - Bezolovnaté automobilové benziny - Technické požadavky a metody zkoušení. CZ, 2018.
- [5] ČSN EN 590: Motorová paliva - Motorové nafty - Technické požadavky a metody zkoušení. CZ, 2018.
- [6] KOŠTÁL, Josef. Ing. Elektromobilita - budoucnost již začala. *Elektro* [online]. 2010 [cit. 2018-11-11]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/elektromobilita-budoucnost-jiz-zacala--10668>
- [7] HROMÁDKO, Jan. *Spalovací motory: komplexní přehled problematiky pro všechny typy technických automobilních škol*. Praha: Grada, 2011. ISBN 978-80-247-3475-0.
- [8] VLK, František. *Vozidlové spalovací motory*. Brno: František Vlk, 2003. ISBN 80-238-8756-4.
- [9] ŠMERDA, Tomáš, Jiří ČUPERA a Martin FAJMAN. *Vznětové motory vozidel: biopaliva, emise, traktory*. Brno: CPress, 2013. Auto-moto-profi (CPress). ISBN 978-80-264-0160-5.
- [10] FERENC, Bohumil. *Spalovací motory: karburátory a vstřikování paliva*. Praha: Computer Press, 2004. Auto-moto-profi (Computer Press). ISBN 80-251-0207-6.
- [11] Rady a vzdělání: Co je oxid uhelnatý?. *Kidde: United Technologies* [online]. [cit. 2018-11-23]. Dostupné z: <http://www.kidde.eu/rady-a-vzdelani/co-je-oxid-uhelnaty>
- [12] Clean Technologies and Environmental Policy: *The pollutant emissions from diesel-engine vehicles and exhaust aftertreatment systems* [online]. 2014 [cit. 2018-11-23]. ISSN 1618-9558. Dostupné z: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10098-014-0793-9#Fig1>
- [13] *EMISE Z VÝFUKOVÝCH PLYNŮ MOTOROVÝCH VOZIDEL* [online]. Praha: Vysoká škola Chemicko-Technologická v Praze [cit. 2019-11-23]. Dostupné z: <https://cv.vscht.cz/files/uzel/0014041/0013~~c83NLE5VKDu8N600Ox9IJWcoFORU5h1dDwA.pdf?redirected>
- [14] *Emise ve výfukových plynech PSM* [online]. Liberec: Technická univerzita v Liberci, Fakulta strojní, Katedra vozidel a motorů [cit. 2019-11-04]. Dostupné z: <http://www.kvm.tul.cz/getFile/id:2627>
- [15] *Ministerstvo životního prostředí: Integrovaný registr znečišťování* [online]. [cit. 2018-11-25]. Dostupné z: [https://www.irz.cz/repository/latky/oxidy\\_dusiku.pdf](https://www.irz.cz/repository/latky/oxidy_dusiku.pdf)
- [16] Only Zero Carbon: CO2 sources [online]. 2016 [cit. 2018-12-07]. Dostupné z: <https://static.secure.website/wscfus/299177/uploads/2c8cb6fb27c0427cbe5d23edfc6d43e6.png>

- [17] Nařízení Komise (EU) 2016/646 ze dne 20. dubna 2016, kterým se mění nařízení (ES) č. 692/2008 z hlediska emisí z lehkých osobních vozidel a z užitkových vozidel (Euro 6) (Text s významem pro EHP) C/2016/1792. In: . Dostupné také z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=CELEX%3A32016R0646>
- [18] *Volkswagen: Neue Standards für Verbrauchswerte.* [online]. [cit. 2018-12-12]. Dostupné z: <https://www.volkswagen.de/de/technologie/wltp.html>
- [19] Čermák L. *Objem nenahradíš turbem.* Autotip. 2012, 2, str. 46. ISSN 1210-1087
- [20] *Přepřínování spalovacích motorů* [online]. Ústí nad Orlicí: Střední škola automobilní [cit. 2019-11-04]. Dostupné z: [http://www.skola-auto.cz/wp-content/uploads/2018/02/16\\_Preplnovani\\_spalovacich\\_motoru.pdf](http://www.skola-auto.cz/wp-content/uploads/2018/02/16_Preplnovani_spalovacich_motoru.pdf)
- [21] Autorubik: Preplňovanie, čo je to turbodúchadlo, ako funguje machanický kompresor, elektrické turbo, poruchy, spoľahlivosť a zo pár rad [online]. [cit. 2019-04-06]. Dostupné z: <http://www.autorubik.sk/clanky/preplnovanie-motora-co-je-to-turboduchadlo-ako-funguje-mechanicky-kompresor-elektricke-turbo-spolahlivost-poruchy-zopar-rad/>
- [22] JAN, Zdeněk a Bronislav ŽDÁNSKÝ. *Automobily.* 2., aktualiz. vyd. Brno: Avid, 2008. ISBN 978-80-87143-06-3.
- [23] JAN, Zdeněk a Bronislav ŽDÁNSKÝ. *Automobily.* 4. vydání. Brno: Avid, spol. s r.o., 2013. ISBN 978-80-87143-29-2.
- [24] MACEK, Jan. *Spalovací motory.* 2. vyd. V Praze: České vysoké učení technické, 2012. ISBN 978-80-0105-015-6.
- [25] GSCHIEDLE, Rolf. *Příručka pro automechanika.* 3. přeprac. vyd. Praha: Europa - Sobotáles, 2007. ISBN 80-867-0617-6.
- [26] *Natural Gas Engine Ignited Spark* [online]. [cit. 2019-04-07]. Dostupné z: <https://cellcode.us/quotes/natural-gas-engine-ignited-spark.html>
- [27] Česká zemědělská univerzita v Praze: *Ekologické aspekty provozu spalovacích motorů: Prezentace na téma Spalovací motory* [online]. [cit. 2018-11-23]. Dostupné z: [http://player.slideplayer.cz/download/42/11273508/IaCa9TLU\\_P9z13XgNWaKtQ/1554645618/11273508.ppt](http://player.slideplayer.cz/download/42/11273508/IaCa9TLU_P9z13XgNWaKtQ/1554645618/11273508.ppt)
- [28] Směšovací poměr a emise [online]. Střední škola automobilní Ústí nad Orlicí [cit. 2018-04-07]. Dostupné z: [http://www.skola-auto.cz/wp-content/uploads/2018/03/Smesovaci\\_pomer.pdf](http://www.skola-auto.cz/wp-content/uploads/2018/03/Smesovaci_pomer.pdf)
- [29] *DANKEN SERVIS: Filtr pevných částic (FAP/DPF)* [online]. In: . [cit. 2019-04-26]. Dostupné z: <https://dankenservis.cz/chiptuning/sluzby/filtr-castic>
- [30] ČUMPELÍK, Jiří. *MM průmyslové spektrum: Snižování emisí ve výfukových plynech* [online]. 9. 10. 2007 [cit. 2019-04-09]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/snizovani-emisi-ve-vyfukovych-plynech.html>
- [31] ŠTĚTINA, Josef. *Prezentaace z předmětu: Teorie spalovacích motorů: emise výfukových plynů.* Brno: Fakulta strojního inženýrství, ústav automobilního a dopravního inženýrství.
- [32] EHK 083 Emise vozidel kategorií M1 a N1: JEDNOTNÁ USTANOVENÍ PRO SCHVALOVÁNÍ VOZIDEL Z HLEDISKA EMISÍ ZNEČIŠŤUJÍCÍCH LÁTEK PODLE POŽADAVKŮ NA MOTOROVÉ PALIVO. Dostupné také z: <http://mezinarodni-predpisy.tuv-sud.cz/cs/predpisy/ehk-osn-integrované-ceske-preklady/ehk-083.html>

- [33] EHK 049 Emise motorů naftových a plynových: JEDNOTNÁ USTANOVENÍ PRO OPATŘENÍ PROTI EMISÍM PLYNNÝCH ZNEČIŠŤUJÍCÍCH LÁTEK A ZNEČIŠŤUJÍCÍCH ČÁSTIC ZE VZNĚTOVÝCH MOTORŮ A ZE ZÁŽEHOVÝCH MOTORŮ URČENÝCH K POUŽITÍ VE VOZIDLECH. Dostupné také z: <http://mezinarodni-predpisy.tuv-sud.cz/cs/predpisy/ehk-osn-integrované-ceske-preklady/ehk-049.html>
- [34] (EHK/OSN) č. 83: Předpis č. 83 Evropské hospodářské komise Organizace spojených národů (EHK/OSN) – Jednotná ustanovení pro schvalování vozidel z hlediska emisí znečišťujících látek podle požadavků na motorové palivo. Dostupné také z: [https://esipa.cz/sbirka/sbsrv.dll/sb?DR=SB&CP=42012X0215\(01\)](https://esipa.cz/sbirka/sbsrv.dll/sb?DR=SB&CP=42012X0215(01))
- [35] (EHK/OSN) č. 49: Předpis č. 49 Evropské hospodářské komise Organizace spojených národů (EHK/OSN) – Jednotná ustanovení o opatřeních proti emisím plyných znečišťujících látek a znečišťujících částic ze vznětových a zážehových motorů vozidel. Dostupné také z: [https://esipa.cz/sbirka/sbsrv.dll/sb?DR=SB&CP=42013X0624\(01\)](https://esipa.cz/sbirka/sbsrv.dll/sb?DR=SB&CP=42013X0624(01))
- [36] Brož, Jiří a Trnka, Luboš. *Praktická dílna – Snižování emisí spalovacích motorů vozidel I a II. autoExpert*. 2009, roč. 14, č. 9 a 10. Praha: Autopress, s.r.o., 2009. ISSN 1211-2380
- [37] *Detektory v plynové chromatografii* [online]. Brno: Mendelova univerzita [cit. 2019-04-16]. Dostupné z: [https://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/zobraz\\_cast.pl?cast=52965](https://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/zobraz_cast.pl?cast=52965)
- [38] *Automa: Infračervené analyzátory plynů* [online]. [cit. 2019-04-16]. Dostupné z: [http://www.automa.cz/Aton/FileRepository/pdf\\_articles/10739.pdf](http://www.automa.cz/Aton/FileRepository/pdf_articles/10739.pdf)
- [39] *Produkce emisních složek výfukových plynů*. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, Technická fakulta.[online]. [cit. 2019-04-18]. Dostupné z <https://docplayer.cz/4536625-Produkce-emisnich-slozek-vyfukovych-plynu.html>
- [40] FIRST, Jiří. Zkoušení automobilů a motocyklů: příručka pro konstruktéry. Praha, 2008. ISBN 978-80-254-1805-5.
- [41] NAŘÍZENÍ EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY (ES) č. 443/2009 ze dne 23. dubna 2009, kterým se stanoví výkonnostní emisní normy pro nové osobní automobily v rámci integrovaného přístupu Společenství ke snižování emisí CO<sub>2</sub> z lehkých užitkových vozidel. Dostupné také z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:32009R0443&from=EN>
- [42] Vyhláška č. 133/2010 Sb.: Vyhláška o požadavcích na pohonné hmoty, o způsobu sledování a monitorování složení a jakosti pohonných hmot a o jejich evidenci (vyhláška o jakosti a evidenci pohonných hmot). Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2010-133>
- [43] NAŘÍZENÍ KOMISE (EU) č. 601/2012 ze dne 21. června 2012 o monitorování a vykazování emisí skleníkových plynů podle směrnice Evropského parlamentu a Rady 2003/87/ES (Text s významem pro EHP). Dostupné také z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=CELEX:32012R0601>
- [44] *Ministerstvo životního prostředí: Národní hodnoty EF, výhřevnosti a oxidačních faktorů* [online]. [cit. 2019-04-23]. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/vypoctove\\_faktory\\_emise/\\$FILE/oeok-NIR\\_vypocetni\\_faktory-20180101.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/vypoctove_faktory_emise/$FILE/oeok-NIR_vypocetni_faktory-20180101.pdf)
- [45] Vyhláška č. 480/2012 Sb.: Vyhláška o energetickém auditu a energetickém posudku. Dostupné také z: <https://zakonyprolidi.cz/cs/2012-480>



- [46] Vyhláška č. 309/2016 Sb.: Vyhláška, kterou se mění vyhláška č. 480/2012 Sb., o energetickém auditu a energetickém posudku. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2016-309>
- [47] Škoda: *katalogový list škoda octavia* [online]. [cit. 2019-04-23]. Dostupné z: <http://az749841.vo.msecnd.net/sitescscz/alv1/3030d9ae-decf-4b75-852c-69c0bc8ce9a4/nova-octavia-katalog.5cf2ce16b82a111a7e664f378b396a97.pdf>
- [48] Český statistický úřad: *Šetření průměrných cen vybraných výrobků - pohonné hmoty a topné oleje - časové řady* [online]. [cit. 2019-04-23]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/setreni-prumernych-cen-vybranych-vyrobkou-pohonne-hmoty-a-topne-oleje-casove-rady>
- [49] CNG: *Ceny CNG* [online]. [cit. 2019-05-13]. Dostupné z: <https://www.cng.cz/ceny>
- [50] Zákon č. 16/1993 Sb.: Zákon České národní rady o dani silniční. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1993-16>

## SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

°C	Stupeň celsia, jednotka teploty
kg·m <sup>-3</sup>	Kilogram na metr krychlový, jednotka měrné hmotnosti
OČ	Oktanové číslo
LPG	Liquified petroleum gas, zkapalněný ropný plyn
Pa	Pascal, jednotka tlaku
CNG	Compressed natural gas, stlačený zemní plyn
CO	Oxid uhličitý
NO <sub>x</sub>	Skupina oxidů dusíků
H <sub>x</sub> C <sub>y</sub>	Skupina uhlovodíků
SO <sub>2</sub>	Oxid siřičitý
CO <sub>2</sub>	Oxid uhličitý
N <sub>2</sub> O	Oxid dusný
NO	Oxid dusnatý
O <sub>3</sub>	Trikyslík, označovaný jako ozon
SO <sub>x</sub>	Skupina oxidů síry
N <sub>2</sub>	Dusík
O <sub>2</sub>	Kyslík
H <sub>2</sub> O	Voda
ES	Evropská společnost
NEDC	New European driving cycle, označení měření emisí
WLTP	World harmonized light-duty vehicles test, označení měření emisí
λ	Lambda, součinitel vyjadřující bohatost směsi
WHTC	World harmonized transient cycle, označení zkušebního cyklu
WHSC	World harmonized stationary cycle, označení zkušebního cyklu
FID	Flame ionization detector, druh detektoru plynů

## A EMISE VOZOVÉHO PARKU

### A.1 Data pro vozidla s motorizací 1,4 TSI 110 kW

Č. vozu	Nájezd [Km]	Spotřeba [l]	Průměrná spotřeba [l·100 km <sup>-1</sup> ]	Emise CO2 výpočet [g CO·km <sup>-1</sup> ]	Emise CO2 výrobce [g CO·km <sup>-1</sup> ]	Rozdíl emise CO2 vypočítané a udané výrobcem [g CO·km <sup>-1</sup> ]	Rozdíl emise CO2 vypočítané a udané výrobcem [%]	Celkové emise CO2 za rok [t CO2]
1.	1306	129,80	9,94	234,10	124	110,10	88,79	0,31
2.	54810	4371,40	7,98	187,86	124	63,86	51,50	10,30
3.	23045	1747,30	7,58	178,59	124	54,59	44,03	4,12
4.	21709	1613,60	7,43	175,08	124	51,08	41,19	3,80
<b>Celkem</b>	<b>100870</b>	<b>7862,10</b>						<b>18,52</b>
<b>Průměr</b>	<b>25217,50</b>	<b>1965,53</b>	<b>8,23</b>	<b>193,91</b>	<b>124</b>	<b>69,91</b>	<b>56,38</b>	<b>4,63</b>

### A.2 Data pro vozidla s motorizací 2,0 TDI 110 kW

Č. vozu	Nájezd [Km]	Spotřeba [l]	Průměrná spotřeba [l·100 km <sup>-1</sup> ]	Emise CO2 výpočet [g CO·km <sup>-1</sup> ]	Emise CO2 výrobce [g CO·km <sup>-1</sup> ]	Rozdíl emise CO2 vypočítané a udané výrobcem [g CO·km <sup>-1</sup> ]	Rozdíl emise CO2 vypočítané a udané výrobcem [%]	Celkové emise CO2 za rok [t CO2]
1.	27180	1364,20	5,02	132,54	113	19,54	17,29	3,60
2.	35845	2005,90	5,60	147,77	113	34,77	30,77	5,30
3.	10635	599,90	5,64	148,96	113	35,96	31,82	1,58
4.	10978	635,00	5,78	152,75	113	39,75	35,17	1,68
5.	18669	941,10	5,04	133,12	113	20,12	17,80	2,49
6.	16565	835,00	5,04	133,11	113	20,11	17,80	2,20
7.	4495	245,50	5,46	144,23	113	31,23	27,63	0,65

Č. vozu	Nájezd [Km]	Spotřeba [l]	Průměrná spotřeba [l·100 km <sup>-1</sup> ]	Emise CO2 výpočet [g CO·km <sup>-1</sup> ]	Emise CO2 výrobce [g CO·km <sup>-1</sup> ]	Rozdíl emise CO2 vypočítané a udané výrobcem [g CO·km <sup>-1</sup> ]	Rozdíl emise CO2 vypočítané a udané výrobcem [%]	Celkové emise CO2 za rok [t CO2]
8.	26696	1619,00	6,06	160,15	113	47,15	41,72	4,28
9.	40632	2828,00	6,96	183,79	113	70,79	62,65	7,47
10.	9641	506,30	5,25	138,68	113	25,68	22,72	1,34
11.	32379	1951,00	6,03	159,12	113	46,12	40,81	5,15
12.	19876	1347,70	6,78	179,05	113	66,05	58,45	3,56
13.	15033	982,00	6,53	172,50	113	59,50	52,65	2,59
14.	42049	2771,10	6,59	174,03	113	61,03	54,01	7,32
15.	24035	1473,20	6,13	161,86	113	48,86	43,24	3,89
16.	43680	2752,70	6,30	166,42	113	53,42	47,27	7,27
17.	21659	1160,70	5,36	141,51	113	28,51	25,23	3,07
18.	27110	1400,50	5,17	136,42	113	23,42	20,72	3,70
19.	34577	1774,30	5,13	135,51	113	22,51	19,92	4,69
20.	39952	2785,40	6,97	184,11	113	71,11	62,93	7,36
21.	26233	1771,70	6,75	178,35	113	65,35	57,83	4,68
<b>Celkem</b>	<b>527919</b>	<b>31750,20</b>						<b>83,84</b>
<b>Průměr</b>	<b>25139</b>	<b>1511,91</b>	<b>5,89</b>	<b>155,43</b>	<b>113</b>	<b>42,43</b>	<b>37,55</b>	<b>3,99</b>

### A.3 Data pro vozidla s motorizací 1,4 TSI 81 kW G-TEC

Č. vozu	Nájezd [Km]	Spotřeba benzin [l]	Spotřeba CNG [m <sup>3</sup> ]	Provoz na CNG [%]	Průměrná spotřeba CNG [m <sup>3</sup> ·100 km <sup>-1</sup> ]	Průměrná spotřeba benzin [l·100 km <sup>-1</sup> ]	Emise CO2 provoz na CNG [gCO <sub>2</sub> ·km <sup>-1</sup> ]	Emise CO2 provoz na benzin [gCO <sub>2</sub> ·km <sup>-1</sup> ]	Emise CO2 celkem [gCO <sub>2</sub> ·km <sup>-1</sup> ]	CO <sub>2</sub> za rok [tCO <sub>2</sub> ]
1.	15716	192,00	785,10	80,40	6,21	6,23	118,78	146,82	124,27	1,95

Č. vozu	Nájezd [Km]	Spotřeba benzin [l]	Spotřeba CNG [m³]	Provoz na CNG [%]	Průměrná spotřeba CNG [m³·100 km <sup>-1</sup> ]	Průměrná spotřeba benzin [l·100 km <sup>-1</sup> ]	Emise CO2 provoz na CNG [gCO <sub>2</sub> ·km <sup>-1</sup> ]	Emise CO2 provoz na benzin [gCO <sub>2</sub> ·km <sup>-1</sup> ]	Emise CO2 celkem [gCO <sub>2</sub> ·km <sup>-1</sup> ]	CO <sub>2</sub> za rok [tCO <sub>2</sub> ]
2.	30374	117,00	1535,40	92,90	5,44	5,43	104,02	127,79	105,70	3,21
3.	31838	195,30	1808,40	90,30	6,29	6,32	120,24	148,96	123,03	3,92
4.	15266	112,30	810,90	87,80	6,05	6,03	115,65	142,03	118,87	1,81
5.	31474	61,00	1804,20	96,70	5,93	5,87	113,32	138,34	114,15	3,59
6.	21007	174,00	1136,80	86,70	6,24	6,23	119,32	146,69	122,96	2,58
7.	11201	260,90	516,80	66,40	6,95	6,93	132,83	163,29	143,06	1,60
8.	22336	79,30	1198,80	93,80	5,72	5,73	109,38	134,88	110,96	2,48
9.	22615	118,10	1242,20	91,30	6,02	6,00	115,01	141,39	117,30	2,65
10.	20865	78,10	1142,90	93,60	5,85	5,85	111,87	137,76	113,53	2,37
11.	31722	286,60	1716,10	85,70	6,31	6,32	120,67	148,82	124,70	3,96
12.	21931	64,20	1163,70	94,80	5,60	5,63	107,00	132,60	108,33	2,38
13.	15320	10,00	823,50	98,80	5,44	5,44	104,00	128,12	104,29	1,60
14.	14220	17,80	881,70	98,00	6,33	6,26	120,95	147,42	121,48	1,73
15.	38642	2214,40	1011,10	31,30	8,36	8,34	159,80	196,48	185,00	7,15
16.	32068	126,70	1894,70	93,70	6,31	6,27	120,54	147,72	122,25	3,92
17.	29140	83,00	1598,60	95,10	5,77	5,81	110,27	136,92	111,58	3,25
18.	33828	80,30	1930,00	96,00	5,94	5,93	113,61	139,78	114,66	3,88
19.	32161	75,00	1779,90	96,00	5,76	5,83	110,20	137,32	111,29	3,58
20.	10701	102,40	592,00	85,20	6,49	6,47	124,12	152,30	128,29	1,37
21.	21211	35,00	1324,40	97,40	6,41	6,35	122,55	149,49	123,25	2,61
22.	15413	81,40	917,90	91,90	6,48	6,52	123,88	153,58	126,28	1,95
23.	33198	1464,00	454,10	23,70	5,77	5,78	110,33	136,14	130,02	4,32
24.	35744	246,00	1704,00	87,40	5,45	5,46	104,27	128,66	107,34	3,84

Č. vozu	Nájezd [Km]	Spotřeba benzin [l]	Spotřeba CNG [m³]	Provoz na CNG [%]	Průměrná spotřeba CNG [m³·100 km <sup>-1</sup> ]	Průměrná spotřeba benzin [l·100 km <sup>-1</sup> ]	Emise CO2 provoz na CNG [gCO <sub>2</sub> ·km <sup>-1</sup> ]	Emise CO2 provoz na benzin [gCO <sub>2</sub> ·km <sup>-1</sup> ]	Emise CO2 celkem [gCO <sub>2</sub> ·km <sup>-1</sup> ]	CO <sub>2</sub> za rok [tCO <sub>2</sub> ]
25.	23454	160,30	1226,50	88,40	5,92	5,89	113,08	138,78	116,06	2,72
26.	18783	35,00	1064,10	96,80	5,85	5,82	111,88	137,16	112,69	2,12
27.	17295	32,50	991,40	95,60	6,00	4,27	114,62	100,60	114,01	1,97
28.	11330	251,20	421,50	62,70	5,93	5,94	113,42	140,01	123,34	1,40
29.	19881	144,70	1026,00	87,60	5,89	5,87	112,62	138,26	115,80	2,30
30.	28264	113,20	1512,70	93,00	5,75	5,72	110,01	134,77	111,74	3,16
31.	15636	35,00	952,30	96,50	6,31	6,40	120,65	150,64	121,70	1,90
32.	34064	230,00	1870,90	89,10	6,16	6,19	117,84	145,91	120,90	4,12
33.	39301	70,10	2370,40	97,10	6,21	6,15	118,74	144,87	119,50	4,70
34.	32764	68,50	2107,20	96,90	6,64	6,74	126,88	158,86	127,87	4,19
35.	30874	60,00	1794,90	96,80	6,01	6,07	114,81	143,05	115,71	3,57
36.	41215	160,00	2219,80	93,30	5,77	5,79	110,35	136,48	112,10	4,62
37.	21805	75,10	1403,50	94,90	6,78	6,75	129,66	159,07	131,16	2,86
38.	61124	868,00	3357,10	79,50	6,91	6,93	132,06	163,17	138,44	8,46
39.	33025	71,10	1760,80	96,10	5,55	5,52	106,06	130,03	106,99	3,53
40.	8464	33,20	510,60	93,90	6,42	6,43	122,81	151,46	124,56	1,05
41.	27592	161,30	1547,60	90,60	6,19	6,22	118,34	146,49	120,99	3,34
42.	21545	0,00	1341,50	100,00	6,23	0,00	119,03	0,00	119,03	2,56
43.	49914	40,20	3082,50	98,70	6,26	6,20	119,61	145,93	119,95	5,99
44.	22671	146,90	1256,00	89,50	6,19	6,17	118,33	145,36	121,17	2,75
45.	25964	25,00	1542,40	98,40	6,04	6,02	115,41	141,75	115,83	3,01
46.	26381	35,00	1482,20	97,70	5,75	5,77	109,93	135,87	110,53	2,92
47.	32369	90,10	1819,80	95,30	5,90	5,92	112,77	139,50	114,03	3,69

Č. vozu	Nájezd [Km]	Spotřeba benzin [l]	Spotřeba CNG [m³]	Provoz na CNG [%]	Průměrná spotřeba CNG [m³·100 km <sup>-1</sup> ]	Průměrná spotřeba benzin [l·100 km <sup>-1</sup> ]	Emise CO2 provoz na CNG [gCO <sub>2</sub> ·km <sup>-1</sup> ]	Emise CO2 provoz na benzin [gCO <sub>2</sub> ·km <sup>-1</sup> ]	Emise CO2 celkem [gCO <sub>2</sub> ·km <sup>-1</sup> ]	CO <sub>2</sub> za rok [tCO <sub>2</sub> ]
48.	21451	248,60	1055,70	80,90	6,08	6,07	116,29	142,92	121,38	2,60
49.	23651	90,90	1253,50	93,20	5,69	5,65	108,71	133,13	110,37	2,61
50.	35715	0,00	2180,90	100,00	6,11	0,00	116,73	0,00	116,73	4,17
51.	23471	113,40	1297,20	92,00	6,01	6,04	114,84	142,25	117,03	2,75
52.	27555	57,00	1534,30	96,40	5,78	5,75	110,42	135,35	111,31	3,07
53.	27860	30,00	1506,00	98,00	5,52	5,38	105,44	126,82	105,87	2,95
54.	24351	104,50	1343,40	92,80	5,94	5,96	113,64	140,39	115,57	2,81
55.	33246	60,00	1804,40	96,80	5,61	5,64	107,18	132,84	108,00	3,59
56.	37531	109,00	2095,20	95,10	5,87	5,93	112,22	139,61	113,56	4,26
57.	27397	31,80	1567,50	98,00	5,84	5,80	111,60	136,70	112,11	3,07
58.	29063	20,00	1662,50	98,80	5,79	5,73	110,68	135,08	110,97	3,23
59.	20817	71,80	1229,20	94,50	6,25	6,27	119,45	147,71	121,00	2,52
60.	35200	846,70	1255,60	59,70	5,97	5,97	114,22	140,59	124,85	4,39
61.	16337	20,00	945,50	97,90	5,91	5,83	113,01	137,31	113,52	1,85
62.	29283	110,90	1809,10	94,20	6,56	6,53	125,37	153,80	127,02	3,72
63.	24964	191,60	1278,30	87,00	5,89	5,90	112,51	139,06	115,96	2,89
64.	25810	153,00	1372,20	90,00	5,91	5,93	112,92	139,63	115,59	2,98
65.	19352	282,80	1127,90	80,00	7,29	7,31	139,27	172,11	145,84	2,82
66.	13504	99,20	620,60	86,20	5,33	5,32	101,92	125,38	105,15	1,42
67.	52587	169,50	3100,50	94,80	6,22	6,20	118,89	146,00	120,30	6,33
68.	22030	141,20	1175,60	89,30	5,98	5,99	114,23	141,09	117,11	2,58
69.	24258	234,40	1201,80	83,70	5,92	5,93	113,15	139,63	117,47	2,85
70.	39106	415,10	2296,50	84,70	6,93	6,94	132,54	163,41	137,26	5,37

Č. vozu	Nájezd [Km]	Spotřeba benzin [l]	Spotřeba CNG [m <sup>3</sup> ]	Provoz na CNG [%]	Průměrná spotřeba CNG [m <sup>3</sup> ·100 km <sup>-1</sup> ]	Průměrná spotřeba benzin [l·100 km <sup>-1</sup> ]	Emise CO2 provoz na CNG [gCO <sub>2</sub> ·km <sup>-1</sup> ]	Emise CO2 provoz na benzin [gCO <sub>2</sub> ·km <sup>-1</sup> ]	Emise CO2 celkem [gCO <sub>2</sub> ·km <sup>-1</sup> ]	CO <sub>2</sub> za rok [tCO <sub>2</sub> ]
71.	26613	302,10	1334,20	81,50	6,15	6,14	117,59	144,53	122,57	3,26
72.	31789	384,70	1537,70	80,00	6,05	6,05	115,59	142,52	120,97	3,85
73.	19793	370,50	886,50	70,50	6,35	6,35	121,44	149,46	129,71	2,57
74.	27985	299,20	1472,70	83,10	6,33	6,33	121,06	149,01	125,78	3,52
75.	32935	86,70	1834,80	93,40	5,96	3,99	114,02	93,95	112,70	3,71
76.	26500	50,60	1650,00	97,00	6,42	6,36	122,71	149,92	123,52	3,27
77.	29277	542,00	1263,20	70,00	6,16	6,17	117,83	145,35	126,09	3,69
78.	30227	143,60	1674,60	92,10	6,02	6,01	114,99	141,65	117,09	3,54
79.	34294	430,90	1663,60	79,40	6,11	6,10	116,79	143,67	122,33	4,20
80.	32406	236,70	1679,50	87,60	5,92	5,89	113,10	138,75	116,28	3,77
81.	31008	260,40	1597,10	86,00	5,99	6,00	114,49	141,29	118,24	3,67
82.	29621	40,40	1569,20	97,50	5,43	5,46	103,87	128,50	104,48	3,09
83.	24408	203,50	1391,90	87,20	6,54	6,51	125,01	153,42	128,65	3,14
84.	28534	304,10	1365,70	81,80	5,85	5,86	111,85	137,93	116,60	3,33
85.	29217	255,00	1511,30	85,60	6,04	6,06	115,52	142,76	119,44	3,49
86.	32427	248,80	1644,70	86,90	5,84	5,86	111,57	137,96	115,03	3,73
87.	20851	68,80	1211,60	94,60	6,14	6,11	117,42	143,93	118,85	2,48
88.	35455	56,00	1846,00	97,10	5,36	5,45	102,50	128,29	103,25	3,66
89.	36896	203,80	1989,40	90,70	5,94	5,94	113,64	139,90	116,08	4,28
90.	24483	111,10	1570,80	93,40	6,87	6,88	131,31	161,95	133,34	3,26
91.	28820	161,20	1580,30	90,70	6,05	6,01	115,57	141,66	118,00	3,40
92.	36412	20,20	2136,10	99,10	5,92	6,16	113,16	145,19	113,45	4,13
93.	26207	302,70	1290,30	81,00	6,08	6,08	116,20	143,19	121,32	3,18



Č. vozu	Nájezd [Km]	Spotřeba benzin [l]	Spotřeba CNG [m <sup>3</sup> ]	Provoz na CNG [%]	Průměrná spotřeba CNG [m <sup>3</sup> ·100 km <sup>-1</sup> ]	Průměrná spotřeba benzin [l·100 km <sup>-1</sup> ]	Emise CO2 provoz na CNG [gCO <sub>2</sub> ·km <sup>-1</sup> ]	Emise CO2 provoz na benzin [gCO <sub>2</sub> ·km <sup>-1</sup> ]	Emise CO2 celkem [gCO <sub>2</sub> ·km <sup>-1</sup> ]	CO <sub>2</sub> za rok [tCO <sub>2</sub> ]
94.	26521	60,40	1434,20	96,00	5,63	5,69	107,68	134,11	108,74	2,88
95.	21053	205,40	1164,10	85,00	6,51	6,50	124,35	153,20	128,68	2,71
96.	32625	41,00	2156,20	98,10	6,74	6,61	128,79	155,80	129,30	4,22
97.	19474	58,10	1059,30	94,80	5,74	5,74	109,69	135,14	111,01	2,16
98.	28435	306,00	1408,10	82,10	6,03	6,01	115,30	141,61	120,01	3,41
99.	30219	194,20	1682,60	89,70	6,21	6,24	118,66	146,96	121,58	3,67
100.	28490	26,20	1759,90	98,50	6,27	6,13	119,88	144,41	120,25	3,43
101.	29238	150,30	1696,30	91,90	6,31	6,35	120,68	149,49	123,01	3,60
102.	36933	614,10	1745,50	74,00	6,39	6,40	122,09	150,63	129,51	4,78
103.	24337	56,00	1426,20	96,20	6,09	6,06	116,45	142,63	117,44	2,86
104.	40334	33,10	2312,90	98,60	5,82	5,86	111,18	138,07	111,55	4,50
105.	67188	201,60	3845,50	95,00	6,02	6,00	115,17	141,35	116,48	7,83
106.	55667	36,30	3312,00	98,90	6,02	5,93	115,00	139,63	115,27	6,42
107.	39239	96,00	2443,80	96,20	6,47	6,44	123,76	151,65	124,82	4,90
108.	13849	33,00	765,70	95,90	5,77	5,81	110,21	136,89	111,30	1,54
109.	33456	612,00	1692,30	73,40	6,89	6,88	131,74	161,98	139,78	4,68
<b>Celkem</b>	<b>3069461</b>	<b>20589,30</b>	<b>166754,10</b>							<b>367,27</b>
<b>Průměr</b>	<b>28160,19</b>	<b>188,89</b>	<b>1529,85</b>	<b>89,34</b>	<b>6,10</b>	<b>5,95</b>	<b>116,56</b>	<b>140,10</b>	<b>119,48</b>	<b>3,37</b>

## B FINANČNÍ ANALÝZA VOZOVÉHO PARKU

### B.1 Data pro vozidla s motorizací 1,4 TSI 110 kW

Č. vozu	Rok výroby	Sleva na dani [%]	Nájezd [Km]	Spotřeba [l]	Průměrná spotřeba [l·100 km <sup>-1</sup> ]	Cena paliva celkem [Kč]	Silniční daň [Kč]	Cena za 1 km [Kč]	Cena za 1 km spolu s daní [Kč]
1.	2015	48	1306	129,8	9,94	4168	1248	3,19	4,15
2.	2016	48	54810	4371,4	7,98	140368	1248	2,56	2,58
3.	2016	48	23045	1747,3	7,58	56107	1248	2,43	2,49
4.	2017	48	21709	1613,6	7,43	51814	1248	2,39	2,44
<b>Celkem</b>			<b>100870</b>	<b>7862</b>		<b>252457</b>	<b>4992</b>		
<b>Průměr</b>			<b>25218</b>	<b>1966</b>	<b>8,23</b>			<b>2,64</b>	<b>2,92</b>

### B.2 Data pro vozidla s motorizací 2,0 TDI 110 kW

Č. vozu	Rok výroby	Sleva na dani [%]	Nájezd [Km]	Spotřeba [l]	Průměrná spotřeba [l·100 km <sup>-1</sup> ]	Cena paliva celkem [Kč]	Silniční daň [Kč]	Cena za 1 km [Kč]	Cena za 1 km spolu s daní [Kč]
1.	2013	40	27180	1364,20	5,02	43108	1800	1,59	1,65
2.	2013	40	35845	2005,90	5,60	63385	1800	1,77	1,82
3.	2013	40	10635	599,90	5,64	18956	1800	1,78	1,95
4.	2013	40	10978	635,00	5,78	20066	1800	1,83	1,99
5.	2013	40	18669	941,10	5,04	29738	1800	1,59	1,69
6.	2013	40	16565	835,00	5,04	26385	1800	1,59	1,70
7.	2013	40	4495	245,50	5,46	7758	1800	1,73	2,13
8.	2013	40	26696	1619,00	6,06	51159	1800	1,92	1,98

Č. vozu	Rok výroby	Sleva na dani [%]	Nájezd [Km]	Spotřeba [l]	Průměrná spotřeba [l·100 km <sup>-1</sup> ]	Cena paliva celkem [Kč]	Silniční daň [Kč]	Cena za 1 km [Kč]	Cena za 1 km spolu s daní [Kč]
9.	2013	40	40632	2828,00	6,96	89363	1800	2,20	2,24
10.	2013	40	9641	506,30	5,25	15999	1800	1,66	1,85
11.	2014	40	32379	1951,00	6,03	61650	1800	1,90	1,96
12.	2014	40	19876	1347,70	6,78	42586	1800	2,14	2,23
13.	2014	40	15033	982,00	6,53	31031	1800	2,06	2,18
14.	2014	40	42049	2771,10	6,59	87565	1800	2,08	2,13
15.	2015	48	24035	1473,20	6,13	46552	1560	1,94	2,00
16.	2015	48	43680	2752,70	6,30	86984	1560	1,99	2,03
17.	2015	48	21659	1160,70	5,36	36677	1560	1,69	1,77
18.	2016	48	27110	1400,50	5,17	44255	1560	1,63	1,69
19.	2016	48	34577	1774,30	5,13	56067	1560	1,62	1,67
20.	2017	48	39952	2785,40	6,97	88017	1560	2,20	2,24
21.	2017	48	26233	1771,70	6,75	55985	1560	2,13	2,19
<b>Celkem</b>			<b>527919</b>	<b>31750,20</b>		<b>1003287</b>	<b>36120</b>		
<b>Průměr</b>			<b>25139</b>	<b>1511,91</b>	<b>5,89</b>			<b>1,86</b>	<b>1,96</b>

### B.3 Data pro vozidla s motorizací 1,4 TSI 81 kW G-TEC

Č. vozu	Nájezd [Km]	Spotřeba benzin [l]	Spotřeba CNG [m3]	Provoz na CNG [%]	Průměrná spotřeba CNG [m3·100 km <sup>-1</sup> ]	Průměrná spotřeba benzin [l·100 km <sup>-1</sup> ]	Nájezd CNG [km]	Nájezd benzin [km]	Cena paliva celkem [Kč]	Cena za 1 km [Kč]
1.	15716	192,00	785,10	80,40	6,21	6,23	12635,66	3080,34	20580	1,31
2.	30374	117,00	1535,40	92,90	5,44	5,43	28217,45	2156,55	31948	1,05
3.	31838	195,30	1808,40	90,30	6,29	6,32	28749,71	3088,29	39475	1,24

Č. vozu	Nájezd [Km]	Spotřeba benzin [l]	Spotřeba CNG [m3]	Provoz na CNG [%]	Průměrná spotřeba CNG [m3·100 km <sup>-1</sup> ]	Průměrná spotřeba benzin [l·100 km <sup>-1</sup> ]	Nájezd CNG [km]	Nájezd benzin [km]	Cena paliva celkem [Kč]	Cena za 1 km [Kč]
4.	15266	112,30	810,90	87,80	6,05	6,03	13403,55	1862,45	18495	1,21
5.	31474	61,00	1804,20	96,70	5,93	5,87	30435,36	1038,64	35086	1,11
6.	21007	174,00	1136,80	86,70	6,24	6,23	18213,07	2793,93	26460	1,26
7.	11201	260,90	516,80	66,40	6,95	6,93	7437,46	3763,54	17867	1,60
8.	22336	79,30	1198,80	93,80	5,72	5,73	20951,17	1384,83	24558	1,10
9.	22615	118,10	1242,20	91,30	6,02	6,00	20647,50	1967,51	26600	1,18
10.	20865	78,10	1142,90	93,60	5,85	5,85	19529,64	1335,36	23493	1,13
11.	31722	286,60	1716,10	85,70	6,31	6,32	27185,75	4536,25	40712	1,28
12.	21931	64,20	1163,70	94,80	5,60	5,63	20790,59	1140,41	23428	1,07
13.	15320	10,00	823,50	98,80	5,44	5,44	15136,16	183,84	15441	1,01
14.	14220	17,80	881,70	98,00	6,33	6,26	13935,60	284,40	16760	1,18
15.	38642	2214,40	1011,10	31,30	8,36	8,34	12094,95	26547,05	89671	2,32
16.	32068	126,70	1894,70	93,70	6,31	6,27	30047,72	2020,28	38857	1,21
17.	29140	83,00	1598,60	95,10	5,77	5,81	27712,14	1427,86	32017	1,10
18.	33828	80,30	1930,00	96,00	5,94	5,93	32474,88	1353,12	38015	1,12
19.	32161	75,00	1779,90	96,00	5,76	5,83	30874,56	1286,44	35089	1,09
20.	10701	102,40	592,00	85,20	6,49	6,47	9117,25	1583,75	14158	1,32
21.	21211	35,00	1324,40	97,40	6,41	6,35	20659,51	551,49	25441	1,20
22.	15413	81,40	917,90	91,90	6,48	6,52	14164,55	1248,45	19467	1,26
23.	33198	1464,00	454,10	23,70	5,77	5,78	7867,93	25330,07	55348	1,67
24.	35744	246,00	1704,00	87,40	5,45	5,46	31240,26	4503,74	39186	1,10
25.	23454	160,30	1226,50	88,40	5,92	5,89	20733,34	2720,66	27667	1,18
26.	18783	35,00	1064,10	96,80	5,85	5,82	18181,94	601,06	20662	1,10
27.	17295	32,50	991,40	95,60	6,00	4,27	16534,02	760,98	19247	1,11

Č. vozu	Nájezd [Km]	Spotřeba benzin [l]	Spotřeba CNG [m3]	Provoz na CNG [%]	Průměrná spotřeba CNG [m3·100 km <sup>-1</sup> ]	Průměrná spotřeba benzin [l·100 km <sup>-1</sup> ]	Nájezd CNG [km]	Nájezd benzin [km]	Cena paliva celkem [Kč]	Cena za 1 km [Kč]
28.	11330	251,20	421,50	62,70	5,93	5,94	7103,91	4226,09	15805	1,39
29.	19881	144,70	1026,00	87,60	5,89	5,87	17415,76	2465,24	23485	1,18
30.	28264	113,20	1512,70	93,00	5,75	5,72	26285,52	1978,48	31410	1,11
31.	15636	35,00	952,30	96,50	6,31	6,40	15088,74	547,26	18609	1,19
32.	34064	230,00	1870,90	89,10	6,16	6,19	30351,02	3712,98	41737	1,23
33.	39301	70,10	2370,40	97,10	6,21	6,15	38161,27	1139,73	45774	1,16
34.	32764	68,50	2107,20	96,90	6,64	6,74	31748,32	1015,68	40890	1,25
35.	30874	60,00	1794,90	96,80	6,01	6,07	29886,03	987,97	34883	1,13
36.	41215	160,00	2219,80	93,30	5,77	5,79	38453,60	2761,41	45895	1,11
37.	21805	75,10	1403,50	94,90	6,78	6,75	20692,95	1112,06	28181	1,29
38.	61124	868,00	3357,10	79,50	6,91	6,93	48593,58	12530,42	89512	1,46
39.	33025	71,10	1760,80	96,10	5,55	5,52	31737,03	1287,98	34613	1,05
40.	8464	33,20	510,60	93,90	6,42	6,43	7947,70	516,30	10441	1,23
41.	27592	161,30	1547,60	90,60	6,19	6,22	24998,35	2593,65	33595	1,22
42.	21545	0,00	1341,50	100,00	6,23	0,00	21545,00	0,00	24631	1,14
43.	49914	40,20	3082,50	98,70	6,26	6,20	49265,12	648,88	57889	1,16
44.	22671	146,90	1256,00	89,50	6,19	6,17	20290,55	2380,46	27778	1,23
45.	25964	25,00	1542,40	98,40	6,04	6,02	25548,58	415,42	29123	1,12
46.	26381	35,00	1482,20	97,70	5,75	5,77	25774,24	606,76	28339	1,07
47.	32369	90,10	1819,80	95,30	5,90	5,92	30847,66	1521,34	36307	1,12
48.	21451	248,60	1055,70	80,90	6,08	6,07	17353,86	4097,14	27366	1,28
49.	23651	90,90	1253,50	93,20	5,69	5,65	22042,73	1608,27	25934	1,10
50.	35715	0,00	2180,90	100,00	6,11	0,00	35715,00	0,00	40044	1,12
51.	23471	113,40	1297,20	92,00	6,01	6,04	21593,32	1877,68	27459	1,17

Č. vozu	Nájezd [Km]	Spotřeba benzin [l]	Spotřeba CNG [m3]	Provoz na CNG [%]	Průměrná spotřeba CNG [m3·100 km <sup>-1</sup> ]	Průměrná spotřeba benzin [l·100 km <sup>-1</sup> ]	Nájezd CNG [km]	Nájezd benzin [km]	Cena paliva celkem [Kč]	Cena za 1 km [Kč]
52.	27555	57,00	1534,30	96,40	5,78	5,75	26563,02	991,98	30002	1,09
53.	27860	30,00	1506,00	98,00	5,52	5,38	27302,80	557,20	28615	1,03
54.	24351	104,50	1343,40	92,80	5,94	5,96	22597,73	1753,27	28022	1,15
55.	33246	60,00	1804,40	96,80	5,61	5,64	32182,13	1063,87	35057	1,05
56.	37531	109,00	2095,20	95,10	5,87	5,93	35691,98	1839,02	41970	1,12
57.	27397	31,80	1567,50	98,00	5,84	5,80	26849,06	547,94	29802	1,09
58.	29063	20,00	1662,50	98,80	5,79	5,73	28714,24	348,76	31167	1,07
59.	20817	71,80	1229,20	94,50	6,25	6,27	19672,07	1144,94	24875	1,19
60.	35200	846,70	1255,60	59,70	5,97	5,97	21014,40	14185,60	50242	1,43
61.	16337	20,00	945,50	97,90	5,91	5,83	15993,92	343,08	18003	1,10
62.	29283	110,90	1809,10	94,20	6,56	6,53	27584,59	1698,41	36778	1,26
63.	24964	191,60	1278,30	87,00	5,89	5,90	21718,68	3245,32	29623	1,19
64.	25810	153,00	1372,20	90,00	5,91	5,93	23229,00	2581,00	30108	1,17
65.	19352	282,80	1127,90	80,00	7,29	7,31	15481,60	3870,40	29790	1,54
66.	13504	99,20	620,60	86,20	5,33	5,32	11640,45	1863,55	14580	1,08
67.	52587	169,50	3100,50	94,80	6,22	6,20	49852,48	2734,52	62371	1,19
68.	22030	141,20	1175,60	89,30	5,98	5,99	19672,79	2357,21	26119	1,19
69.	24258	234,40	1201,80	83,70	5,92	5,93	20303,95	3954,05	29593	1,22
70.	39106	415,10	2296,50	84,70	6,93	6,94	33122,78	5983,22	55495	1,42
71.	26613	302,10	1334,20	81,50	6,15	6,14	21689,60	4923,41	34198	1,29
72.	31789	384,70	1537,70	80,00	6,05	6,05	25431,20	6357,80	40587	1,28
73.	19793	370,50	886,50	70,50	6,35	6,35	13954,07	5838,94	28174	1,42
74.	27985	299,20	1472,70	83,10	6,33	6,33	23255,54	4729,47	36648	1,31
75.	32935	86,70	1834,80	93,40	5,96	3,99	30761,29	2173,71	36473	1,11

Č. vozu	Nájezd [Km]	Spotřeba benzin [l]	Spotřeba CNG [m3]	Provoz na CNG [%]	Průměrná spotřeba CNG [m3·100 km <sup>-1</sup> ]	Průměrná spotřeba benzin [l·100 km <sup>-1</sup> ]	Nájezd CNG [km]	Nájezd benzin [km]	Cena paliva celkem [Kč]	Cena za 1 km [Kč]
76.	26500	50,60	1650,00	97,00	6,42	6,36	25705,00	795,00	31920	1,20
77.	29277	542,00	1263,20	70,00	6,16	6,17	20493,90	8783,10	40598	1,39
78.	30227	143,60	1674,60	92,10	6,02	6,01	27839,07	2387,93	35358	1,17
79.	34294	430,90	1663,60	79,40	6,11	6,10	27229,44	7064,56	44382	1,29
80.	32406	236,70	1679,50	87,60	5,92	5,89	28387,66	4018,34	38438	1,19
81.	31008	260,40	1597,10	86,00	5,99	6,00	26666,88	4341,12	37686	1,22
82.	29621	40,40	1569,20	97,50	5,43	5,46	28880,48	740,53	30109	1,02
83.	24408	203,50	1391,90	87,20	6,54	6,51	21283,78	3124,22	32091	1,31
84.	28534	304,10	1365,70	81,80	5,85	5,86	23340,81	5193,19	34840	1,22
85.	29217	255,00	1511,30	85,60	6,04	6,06	25009,75	4207,25	35937	1,23
86.	32427	248,80	1644,70	86,90	5,84	5,86	28179,06	4247,94	38187	1,18
87.	20851	68,80	1211,60	94,60	6,14	6,11	19725,05	1125,95	24455	1,17
88.	35455	56,00	1846,00	97,10	5,36	5,45	34426,81	1028,20	35693	1,01
89.	36896	203,80	1989,40	90,70	5,94	5,94	33464,67	3431,33	43072	1,17
90.	24483	111,10	1570,80	93,40	6,87	6,88	22867,12	1615,88	32409	1,32
91.	28820	161,20	1580,30	90,70	6,05	6,01	26139,74	2680,26	34192	1,19
92.	36412	20,20	2136,10	99,10	5,92	6,16	36084,29	327,71	39870	1,09
93.	26207	302,70	1290,30	81,00	6,08	6,08	21227,67	4979,33	33411	1,27
94.	26521	60,40	1434,20	96,00	5,63	5,69	25460,16	1060,84	28273	1,07
95.	21053	205,40	1164,10	85,00	6,51	6,50	17895,05	3157,95	27970	1,33
96.	32625	41,00	2156,20	98,10	6,74	6,61	32005,13	619,88	40907	1,25
97.	19474	58,10	1059,30	94,80	5,74	5,74	18461,35	1012,65	21315	1,09
98.	28435	306,00	1408,10	82,10	6,03	6,01	23345,14	5089,87	35680	1,25
99.	30219	194,20	1682,60	89,70	6,21	6,24	27106,44	3112,56	37130	1,23

Č. vozu	Nájezd [Km]	Spotřeba benzin [l]	Spotřeba CNG [m3]	Provoz na CNG [%]	Průměrná spotřeba CNG [m3·100 km <sup>-1</sup> ]	Průměrná spotřeba benzin [l·100 km <sup>-1</sup> ]	Nájezd CNG [km]	Nájezd benzin [km]	Cena paliva celkem [Kč]	Cena za 1 km [Kč]
100.	28490	26,20	1759,90	98,50	6,27	6,13	28062,65	427,35	33155	1,16
101.	29238	150,30	1696,30	91,90	6,31	6,35	26869,72	2368,28	35972	1,23
102.	36933	614,10	1745,50	74,00	6,39	6,40	27330,42	9602,58	51768	1,40
103.	24337	56,00	1426,20	96,20	6,09	6,06	23412,19	924,81	27985	1,15
104.	40334	33,10	2312,90	98,60	5,82	5,86	39769,32	564,68	43530	1,08
105.	67188	201,60	3845,50	95,00	6,02	6,00	63828,60	3359,40	77081	1,15
106.	55667	36,30	3312,00	98,90	6,02	5,93	55054,66	612,34	61977	1,11
107.	39239	96,00	2443,80	96,20	6,47	6,44	37747,92	1491,08	47953	1,22
108.	13849	33,00	765,70	95,90	5,77	5,81	13281,19	567,81	15119	1,09
109.	33456	612,00	1692,30	73,40	6,89	6,88	24556,70	8899,30	50724	1,52
<b>Celkem</b>	<b>3069461</b>	<b>20589</b>	<b>166754</b>				<b>2742829</b>	<b>326632</b>	<b>3722907</b>	
<b>Průměr</b>	<b>28160,19</b>	<b>189</b>	<b>1530</b>	<b>89,34</b>	<b>6,10</b>	<b>5,95</b>				<b>1,21</b>



#### B.4 Vývoj finančních nákladů na pohonné hmoty (dle reálné spotřeby z provozu) včetně kupní ceny vozidla

Nájezd [km]	Cena včetně DPH [Kč]		
	1,4 TSI 81 kW G-TEC <sup>(1)</sup>	1,4 TSI 110 kW <sup>(2)</sup>	2,0 TDI 110 kW <sup>(3)</sup>
0	588 900	518 900	693 900
50	588960,54	519032,17	693992,99
100	589021,09	519164,34	694085,99
100000	709986,19	783244,84	879887,41
200000	831072,37	1047589,67	1065874,83
300000	952158,56	1311934,51	1251862,24
350000	1012701,65	1444106,93	1344855,95
400000	1073244,74	1576279,34	1437849,65
450000	1133787,83	1708451,76	1530843,36
500000	1194330,93	1840624,18	1623837,06
<sup>(1)</sup> - cena paliva pro ujetí jednoho kilometru činí 2,64 Kč <sup>(2)</sup> - cena paliva pro ujetí jednoho kilometru činí 1,86 Kč <sup>(3)</sup> - cena paliva pro ujetí jednoho kilometru činí 1,21 Kč			

## C EMISNÍ MĚŘENÍ VOZIDEL

### C.1 Hodnoty měření pro vozidlo s motorem 1,6 TDI 77 kW

měření	V [km·h <sup>-1</sup> ]	RPM [min <sup>-1</sup> ]	P [kW]	Mt [N·m]	t sání [°C]	CO [%]	CO2 [%]	HC [ppm]
1.	60,1	1206	18,9	149,7	20,2	0,008	12,94	19
	90,1	1811	45,5	239,8	20,2	0,008	11,35	26
	120	2408	62	245,8	20,2	0,008	10,79	27
	149,9	3001	76,2	242,5	20,2	0,008	11,29	23
2.	60,1	1206	18,2	144,1	21,7	0,006	12,86	12
	90,1	1811	45,3	238,8	21,2	0,006	11,28	20
	120	2408	61,7	244,8	20,9	0,006	10,79	23
	149,9	3001	75,5	240,2	20,7	0,008	11,23	20

### C.2 Hodnoty měření pro vozidlo s motorem 1,4 TSI 81 kW G-TEC s pohonem na benzin

měření	V [km·h <sup>-1</sup> ]	RPM [min <sup>-1</sup> ]	P [kW]	Mt [N·m]	t sání [°C]	CO [%]	CO2 [%]	HC [ppm]
1.	60,1	2093	42,2	192,8	18,1	0,064	15,58	18
	90,1	3134	63,3	192,9	18,1	0,544	15,41	24
	120	4163	75,4	173	18,2	1,76	14,55	37
	149,9	5182	78,9	145,5	18,2	1,726	14,56	39
2.	60,1	2093	42	191,8	17,8	0,018	15,62	4
	90,1	3135	63,3	192,7	17,9	0,018	15,62	4
	120	4165	75,1	172,2	18	1,725	14,54	26
	149,9	5184	78,4	144,4	18	2,046	14,36	35
3.	60,1	2093	42	191,4	18,2	0,049	15,57	8
	90,1	3136	63,5	193,4	18,2	0,922	15,8	14
	120	4165	75,5	173,2	18,1	2,064	14,36	28
	149,9	5183	78,5	144,7	18,1	2,04	14,37	29
4.	60,1	2094	42,5	194	18,3	0,064	15,42	14
	90,1	3136	63,4	192,9	18,2	0,155	15,42	15
	120	4165	75,8	173,8	18	1,895	14,39	25
	149,9	5183	79,1	145,7	18,1	2,369	14,05	33
5.	60,1	2094	42,3	192,7	19,1	0,065	15,37	8
	90,1	3136	63,2	192,4	19,2	1,457	14,79	16
	120	4165	75,7	173,6	19,3	2,556	13,91	29
	149,9	5183	79	145,5	19,5	2,856	13,77	36

### C.3 Hodnoty měření pro vozidlo s motorem 1,4 TSI 81 kW G-TEC s pohonem na stlačený zemní plyn

měření	V [km·h <sup>-1</sup> ]	RPM [min <sup>-1</sup> ]	P [kW]	Mt [N·m]	t sání [°C]	CO [%]	CO2 [%]	HC [ppm]
1.	60,1	2093	43,6	198,9	22,9	0,014	11,81	42
	90,1	3135	64,6	196,6	22,9	0,013	11,81	36
	120	4164	76,7	176	22,9	0,009	11,8	36
	149,9	8182	79,9	147,2	22,8	0,007	11,81	26
2.	60,1	2094	43,3	197,6	21,1	0,006	11,99	13
	90,1	3136	64,6	196,6	21,1	0,02	11,91	9
	120	4164	76,7	176	21,2	0,018	11,93	19
	149,9	5182	80,2	147,8	21,2	0,006	11,95	25